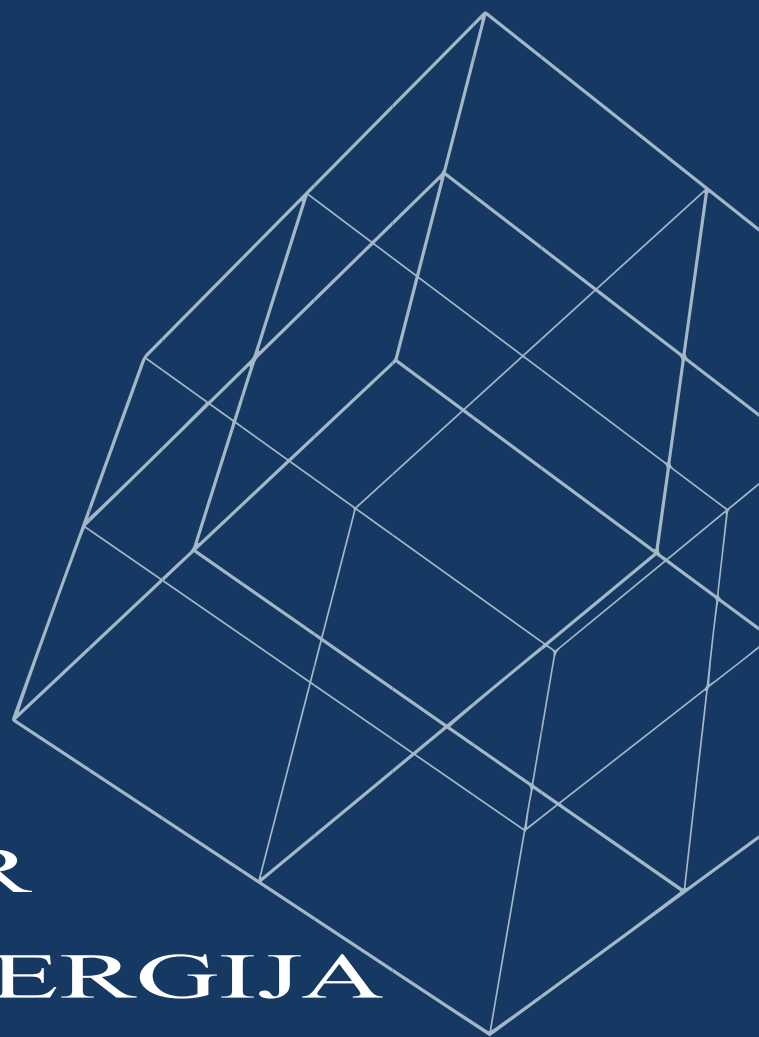




KAUNO
TECHNIKOS
KOLEGIJA



PRAMONĖS IR
VERSLO SINERGIJA
TVARIAI ATEIČIAI

2023 m.

Mokslinės konferencijos
„PRAMONĖS IR VERSLO
SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI”
recenzuotų straipsnių rinkinys

Leidėjas: Kauno technikos kolegija
ISSN 2783-6223 (leidinio forma: Elektroninis)

2023m. Kaunas

Mokslinės konferencijos „Pramonės ir mokslo sinergija tvariai ateičiai 2023“

Mokslinis komitetas:

Recenzuotų straipsnių rinkinio vyr. redaktorė, mokslinio komiteto vadovė – dr. Giedrė Adomavičienė

Atsakingoji mokslinė sekretorė – dr. Esmeralda Štyps.

Redkolegijos ir mokslinio komiteto nariai:

Dr. Marius Mažeika

Dr. Rosita Norvaišienė

Dr. Donata Putnaitė

Dr. Rasa Žygienė

Dr. Gediminas Daukšys

Dr. Vytenis Naginevičius

Dr. Rūta Jankūnienė

TURINYS

INOVACIJOS ŠIUOLAIKINĖS STATYBOS, KELIŲ TIESIMO SEKTORIJE.....	7
COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF SUSTAINABLE WALL WITH FOCUS ON CO ₂ EMISSIONS	8
Anna Mesiarikova, Rosita Norvaišienė Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
TRUMPALAIKIO APGYVENDINIMO PASTATŲ MEDŽIO KONSTRUKCIJŲ IŠORINIŲ SIENŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS	12
Violeta Medelienė, Karolis Žižys Kauno technikos kolegija	
PRAMONINIO PASTATO IŠORINIŲ SIENŲ TVARUMO ANALIZĖ	19
Matas Sragauskas, Rosita Norvaišienė Kauno technikos kolegija	
PREKYBOS PASKIRTIES PASTATO IŠORINIŲ ATITVARŲ VARIANTŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ	25
Modestas Kanauka, Violeta Medelienė Kauno technikos kolegija	
DAUGIABUČIO GYVENAMOJO NAMO IŠORINIŲ SIENŲ KONSTRUKCIJŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ	31
Tomas Rakauskas, Jūratė Mockienė Kauno technikos kolegija	
ADMINISTRACINĖS PASKIRTIES PASTATŲ KARKASO SPRENDINIŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS, TAIKANT DAUGIAKRITERINĮ VERTINIMĄ.....	38
Rimvydas Žukauskas, Violeta Medelienė Kauno technikos kolegija	
SPECIALIOS PASKIRTIES PASTATO FASADO ŠILTINIMO SISTEMŲ SPRENDINIŲ ANALIZĖ	45
Marija Derškutė, Violeta Medelienė Kauno technikos kolegija	
SPORTO SALĖS STOGO LAIKANČIOS KONSTRUKCIJOS – SANTVAROS PARINKIMAS IR VERTINIMAS.....	52
Airidas Bliuvas, Birutė Požerienė Kauno technikos kolegija	
AUTOSERVISO GRINDŲ DANGŲ PROJEKTINIŲ SPRENDINIŲ VERTINIMAS	61
Dainius Ramukevičius, Andrius Vilimas Kauno technikos kolegija	
ALTERNATYVIŲ KELIO ATITVARŲ PARINKIMO INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS.....	67
Regina Motienė, Kostas Dulka Kauno technikos kolegija	
ELETRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KRYPTIES NAUJOVĖS BEI PERSPEKTYVOS MOKSLE IR PRAMONĖJE	73
AUTOMATIKOS SISTEMŲ MONTAVIMO IR DERINIMO PROCESŲ OPTIMIZAVIMAS	74
Viačeslav Vaščenkov ¹ , Rūta Jankūnienė ² AB „Achema“ ¹ , Kauno technikos kolegija ²	

PRAMONINĖS PASKIRTIES PASTATO SU HIBRIDINE SAULĖS ELEKTRINE DARBO TYRIMAS.....	86
Gediminas Daukšys, Ažuolas Macijauskas Kauno technikos kolegija	
20 MW VĖJO JĖGAINIŲ PARKO PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLO DARBO TYRIMAS.....	92
Gediminas Daukšys, Žuvininkas Herbertas Kauno technikos kolegija	
GALIOS KABELIŲ ŠILUMINIŲ PARAMETRŲ PRIKLAUSOMYBĖS NUO APLINKOS VEIKSNIŲ TYRIMAS.....	99
Nerijus Baršiukaitis Kauno technikos kolegija	
ELEKTROSTATINĖS ŽMOGAUS SUKELTOS APLINKOS ĮTAKOS SKAITMENINĖMS RELINĖMS APSAUGŲ SISTEMOMS TYRIMAS.....	106
Nerijus Baršiukaitis Kauno technikos kolegija	
AUTOTRANSPORTO ELEKTRONIKOS INOVACIJŲ PROJEKTINIAI SPRENDIMAI	111
AUTOMOBILIO AKLOSIOS ZONOS STEBĖJIMO SISTEMOS TYRIMAS, NAUDOJANT SKIRTINGUS GALIMOS KLIŪTIES OBJEKTUS IR SĄLYGAS	112
Domas Morkis, Rasa Žygienė Kauno technikos kolegija	
DRĖGMĖS IR TEMPERATŪROS ĮTAKOS KABRIOLETO TIPO AUTOMOBILIO STOGO VALDYMO SISTEMAI TYRIMAS.....	123
Nojus Kačinskas, Laurynas Kolodzeiskis, Ainis Kiveris Kauno technikos kolegija	
AUTOMOBILIO ŽIBINTŲ VALDYMO SISTEMOS, ESANČIOS SKIRTINGAIS KET REKOMENDUOJAMAI ATSTUMAI NUO ŠVIESOS ŠALTINIO, TYRIMAS.....	132
Lukas Būtė, Rasa Žygienė Kauno technikos kolegija	
AUTOMOBILIO LANGŲ PRITAIKYMO AUTOMOBILIO SALONO VENTILIAVIMUI GALIMYBIŲ STUDIJA	143
Martynas Malinauskas, Artūras Aleksynas Kauno Technikos kolegija	
SPORTINIO MOTOCIKLO RATŲ PADANGŲ TEMPERATŪRŲ TYRIMAS NEMUNO ŽIEDO IR AUKŠTADVARIO KARTODROMO TRASOSE	150
Simas Ferevičius, Rasa Žygienė Kauno technikos kolegija	
TRANSPORTO IR MECHANIKOS INŽINERIJOS INOVACIJOS MOKSLE IR PRAMONĖJE	160
AERODINAMIKOS KOMPONENTŲ FUNKCIONAVIMO VERTINIMAS SPORTINIUOSE AUTOMOBILIUOSE.....	161
Matas Kupčiūnas, Marius Mažeika Kauno technikos kolegija	
LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ KIEKYBINĖ GEDIMŲ ANALIZĖ.....	167
Tomas Mickevičius, Donatas Martišius Kauno technikos kolegija	

HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ AUŠINIMO SISTEMOS FUNKCIONALUMO VERTINIMAS: TOYOTA PRIUS ATVEJO ANALIZĖ	172
Titas Minelga, Darius Juodvalkis Kauno technikos kolegija	
PAKABOS KOMPONENTŲ KOKYBĖS PARAMETRŲ RAIŠKA LENGVUOSIUOSE AUTOMOBILIUOSE.....	178
Lukas Andriuškevičius, Marius Mažeika Kauno technikos kolegija	
STABDŽIŲ SISTEMOS KOMPONENTŲ KOKYBĖS PARAMETRŲ RAIŠKA HIBRIDINIUOSE AUTOMOBILIUOSE	184
Ignas Balinskas, Marius Mažeika Kauno technikos kolegija	
DYZELINIŲ IR ALTERNATYVIŲ DEGALŲ MIŠINIŲ PANAUDOJIMO DYZELINIUOSE VARIKLIUOSE TYRIMAS.....	190
Tomas Mickevičius, Paulius Motvydas Kauno technikos kolegija	
SKIRTINGOS SUDĖTIES DEGALŲ TEPUMO SAVYBIŲ TYRIMAS	196
Tomas Mickevičius Kauno technikos kolegija	
TECHNOLOGINĖS IR EKSPERTINĖS INOVACIJOS AERONAUTIKOS INŽINERIJOS SRITYJE.....	202
BITINĖS ĮRANGOS KOMPLEKTACIJOS MODIFIKAVIMO PRIELAIIDOS ORLAIVYJE BOEING 737 – 800	203
Esmeralda Štys, Deinaras Stundžia Kauno techikos kolegija	
PROFESINIŲ IR BENDRŲJŲ KOMPETENCIJŲ UGDYMAS: GEROSIOS PRAKTIKOS PAVYZDŽIAI	211
FACTORS AFFECTING STUDENTS’ ADAPTATION IN FOREIGN STUDY COUNTRY	212
Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė Kauno Technikos Kolegija	
VEIKSNIAI LEMIANTYS STUDENTŲ PASIRINKIMĄ STUDIJUOTI UNIVERSITETINĖJE AR AUKŠTOJOJE NEUNIVERSITETINĖJE MOKYKLOJE.....	219
Lina Girdauskienė, Ugnė Savanevičiūtė, Beata Bučelytė Kauno technikos kolegija	
PERSONALIZUOTO MOKYMO/SI APLINKOS KŪRIMAS KAIP LIBERALAUS UGDYMO BRUOŽŲ RAIŠKA: TEORINĖS IŽVALGOS	226
Giedrė Adomavičienė, Judita Štreimikienė Kauno technikos kolegija	
APPLICATION OF PINK TAX: CASES IN LITHUANIA AND THE NETHERLANDS.....	231
Lina Girdauskienė, Rugilė Girdauskaitė Kaunas University of Applied Engineering Sciences	

INOVACIJOS ŠIUOLAIKINĖS STATYBOS, KELIŲ TIESIMO SEKTORIUJE

COMPARISON OF DIFFERENT TYPES OF SUSTAINABLE WALL WITH FOCUS ON CO₂ EMISSIONS

Anna Mesiarikova, Rosita Norvaišienė
Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Summary

This study aims to offer an insight into decision-making based on the LCA assessment with a focus on CO₂ emissions. The main objective of this research is the evaluation of environmental impact of used building materials for a typical Lithuanian summer house with One Click LCA software. The research is focused on the comparison of global warming potential of building materials used for summer houses with different types of sustainable external walls by using a quantitative method. A comparison of these wall constructions was described by measuring the global warming potentiation of building components. The results showed that the best results were obtained from the straw panel external wall house with the value of 35.5 t CO₂e and the prefabricated timber wall with 35.56 t carbon dioxide (CO₂e). This analysis shows just a small spectrum of the broad topic, it is recommended to assess more studies, to get a full understanding of the responsibilities that designers carry when making decisions.

Key words: LCA assessment, buildin materials, One Click LCA.

Introduction

The buildings and construction sector is responsible for 37% of energy and process-related CO₂ emissions. Even though this number dropped due to the pandemic crisis compared to the year 2019, it is expected, that the amount of carbon emissions will be pushed higher as the construction demand rises (IEA, 2021). To achieve significant savings, the building sector must focus on the efficiency of construction and usage of buildings (Petrovic, et al., 2018). Therefore, it is essential to specify and describe building materials used in projects on their environmental level, in order to choose the most appropriate variant and by that create an eco-system instead of focusing only on aesthetics and price (Ingels, 2020). Emphasis must be placed on a holistic approach, as the climate change crisis has already arrived (Valencia-Barba & Gómez-Soberón, 2019).

The construction sector has seen growth in interest in describing and reducing the environmental impact caused by the choice of building materials (Carabaño, et al., 2017). Building materials such as steel and concrete have high embodied energy, however, they are still greatly used in construction. The choice of building materials for any building is mainly based on structural and thermal properties and cost (Eales, 2013). The environmental impact of the building is determined by decisions made in the early phases of the design. Designers, nevertheless, must be focused on decisions that are of the utmost importance to the building's impact (J. Basbagill, 2013).

Life cycle assessment is a frequently used tool for the assessment of the environmental impact. Thanks to the outcome building life cycle assessment designers have the opportunity to make appropriate changes to optimize energy performance and minimize impacts on the environment (Vigovskaya, et al., 2018).

It is important to note, that according to Röck, choosing the right methodology related to the assessment of biogenic carbon is expected to gain its importance, as the buildings are continuously reducing their operational greenhouse gasses (Röck, et al., 2020). This research study aims to offer an insight into decision-making based on the LCA assessment with a focus on CO₂ emissions. For the LCA assessment, researcher chose to use One Click LCA software, as it easy and automated life cycle assessment tool, that helps to calculate environmental impact of a building and consequently reduce it.

Developed by Bionova Ltd., One Click LCA software complies with EN 15978 standard (Bionova Ltd., n.d.). Building components are divided into categories, to get a comprehensive assessment of chosen possibilities.

The main objective of this research is the evaluation of environmental impact of used building materials for a typical Lithuanian summer house with One Click LCA software. The subject of the comparison are external walls; however, the research takes into account emissions from the deliberately chosen project - summer house as a whole.

2 Methodology and chosen wall constructions

2.1. Analyzed Wall constructions

The typical Lithuanian summer house of 140.1 m² was chosen for research (Fig. 1) and modelled in Autodesk Revit for each type of external wall, to get quantity take-offs.



Fig. 1. Typical Lithuanian Summer House
Source: drawn by authors

The choice of construction of the external walls was influenced by the aim of finding green and sustainable materials, that are, at the same time available in Lithuania. Different materials are used in each of the options; however, the thermal transmittance has a fixed value of $0.18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. The typical Lithuanian summer house has been designed using 4 different walls constructions, i.e. double log wall, straw panel wall, prefabricated timber wall and autoclaved aerated concrete block wall (Fig. 2).

Double log wall houses are a popular choice in Scandinavian countries nowadays. This external wall consists of three layers: inner leaf – logs with a thickness of 140 mm, insulation – the wooden fiber of 150 mm, and outer leaf – logs with a thickness of 70 mm ("Eurogrupė", 2022).

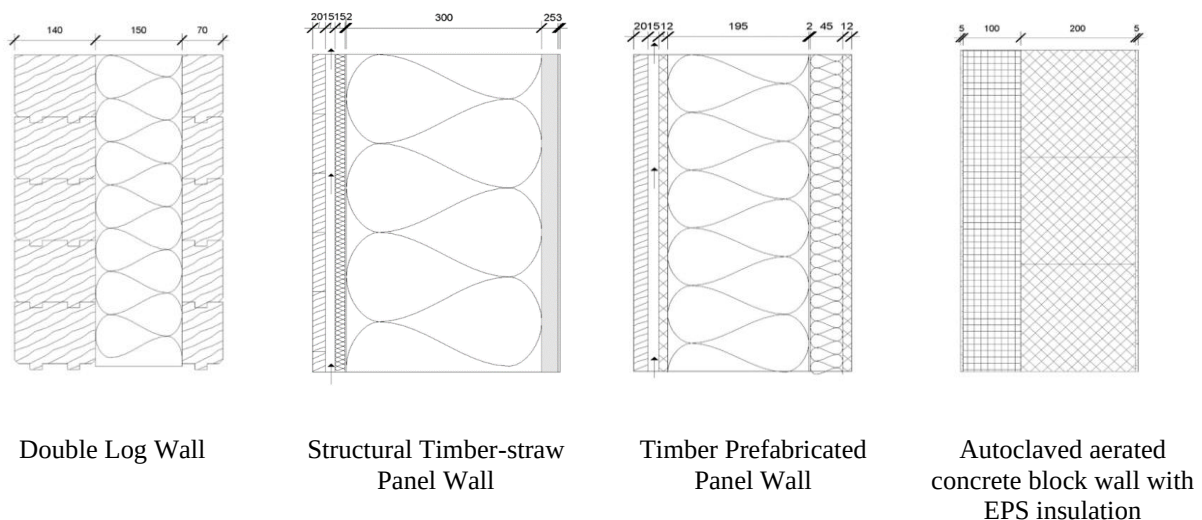


Fig. 2. Constructions of the external walls
Source: drawn by authors

Structural timber-straw panels are made of 98% natural renewable resources. This construction consists of (from outside): cladding 20 mm, ventilated gap 20 mm insulating fiber board 15 mm, airtight membrane, timber-straw panel 300 mm, base clay coat 25 mm, reinforcing mesh fine clay plaster 3 mm (Ecococon, 2022).

Timber wall construction is prefabricated and preassembled afterward on site. It consists of 2-layer painted wooden panels, an air gap with battens, cement-based board, wooden frame 195x45mm with mineral wool in between, a vapor barrier, additional wooden frame 50x45mm with mineral wool and gypsum board (Ecobustas, 2022).

Autoclaved aerated concrete blocks with a density of 350 kg/m^3 are the last option. The construction of such a wall consists of blocks of 200mm, 100mm of extruded polystyrene and renders. It is a very typical wall construction for new buildings (Bauroc, 2022).

The research is focused on the comparison of CO_2e emissions from the typical Lithuanian summer house with different types of sustainable external walls by using a quantitative method. CO_2e – as defined by Eurostat, it is a metric measure used to compare emissions from different greenhouse gasses based on their greenhouse warming potential, by changing amounts of other gases to the equivalent amount of CO_2 . CO_2e ,

therefore accounts not only for carbon dioxide, but also for other gases such as nitrous oxide and methane (Rabo, 2020).

To make a detailed evaluation, a comparison of these wall constructions was described by measuring the global warming potential of building materials used for a summer house of 140.1 m² and included the following building components: foundations, floor and roof constructions, internal load-bearing walls, as well as doors and windows. The final CO₂e was calculated with the One Click LCA Planetary software, with the student access, which reports the product's cradle to gate carbon impacts (A1-A3) and estimates transport (A4) and construction site operations (A5) with average impacts based on the gross floor area of the building, as well as material efficiency, however, the biogenic carbon is not being deducted from totals.

Life cycle assessment consists of several stages, as shown below in Table 1., however, the scope of the research was limited to the available functions of the software.

Table 1

All life cycle stages according to European standards

Product Stage			Construction Process Stage			Use Stage						End-of-Life Stage				Benefits and loads beyond the system boundary		
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use/application	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse	Recovery	Recycling
A1*	A2*	A3*	A4*	A5*	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D

**Marked stages are included in the One Click LCA calculation*

To find appropriate options for the comparison of different wall types, it was necessary to find the requirement, which would set the framework. After thorough analysis, the main requirement was chosen to be the thermal transmittance, with a value of 0.18 W/(m²K), as it affects the energy efficiency class of the examined building.

3. Results and discussion

After inserting all of the building components into the One Click LCA software, results were obtained. The results include A1-A3 stages of the LCA and estimated A4 and A5 stages by the One Click LCA Software. As Figure 6 shows, the difference between the chosen wall constructions was not as significant as assumed. The summer house with: double log wall construction causes 37.41 t of CO₂e, straw panel wall construction causes 35.5 t of CO₂e, prefabricated timber wall construction 35.66 t of CO₂e and autoclaved aerated concrete block wall construction 38.86 t of CO₂e.

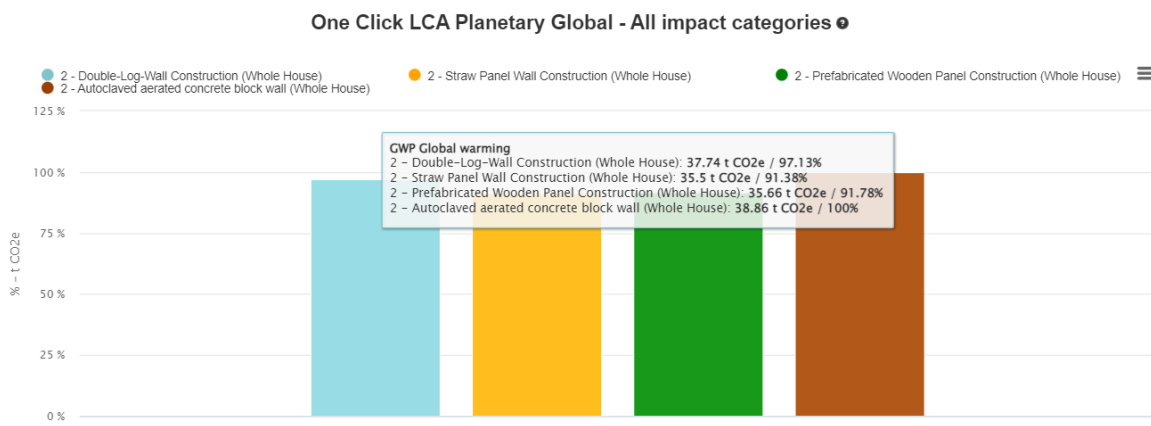


Fig. 6. Results from One Click LCA software

Source: drawn by authors

The comparison of the different external wall types has revealed that the difference between the chosen options is not as significant as expected. The highest value of global warming potential has the summer house with autoclaved aerated concrete external wall with XPS insulation. Yet, the difference between the double log external wall and the autoclaved aerated concrete external wall is minor. Several studies mentioned in the introduction have concluded, that there is an interest in describing the environmental impact of the building materials, however, it is not mandatory to this day in Lithuania. This finding only confirms these conclusions, what's more, it shows, how far the building and construction sectors have come.

Conclusions

The best results were obtained from the straw panel external wall house with the value of 35.5 t CO₂e and the prefabricated wooden external panel wall with 35.56 t CO₂e. Again, it is worth mentioning that the difference in outcome between all the four options is minor. It is necessary to evaluate every project with a holistic approach and consider all the building components to make the right and conscious decisions from the beginning, in the designing phase.

This analysis shows just a small spectrum of the broad topic, it is recommended to assess more studies, to get a full understanding of the responsibilities that designers carry when making decisions.

REFERENCE LIST

1. "Eurogrupė", U., 2022. *Wooden House*. [Online] Available at: <http://www.woodenhouse.biz/rastiniai-namai.php?lang=en> [Accessed 28 April 2022].
2. Bauroc, 2022. *Bauroc*. [Online] Available at: www.bauroc.lt/sienu-projektavimas/techniniai-duomenys/ [Accessed 15 April 2022].
3. Bionova Ltd., n.d. *One Click LCA*. [Online] Available at: www.oneclicklca.com [Accessed 15 May 2022].
4. Carabaño, R., Hernando, S. M., Ruiz, D. & Bedoya, C., 2017. *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of*. Madrid, s.n.
5. Eales, A., 2013. *Sustainability and Engineering*. [Online] Available at: <https://rdmc.nottingham.ac.uk/bitstream/handle/internal/112/Engineering%20Sustainability/index.html> [Accessed 2 June 2022].
6. Ecobustas, 2022. *Ecobustas*. [Online] Available at: www.ecobustas.lt [Accessed 21 April 2022].
7. Ecococon, 2022. *ecococon*. [Online] Available at: www.ecococon.eu [Accessed 15 April 2022].
8. IEA, 2021. *2021 Global Status Report for Buildings and Construction*, s.l.: s.n.
9. Ingels, B., 2020. <https://d2line.com/thatlook/big-as-bjarke-ingels-creator-of-lego-house/>. [Sound Recording] (BIG).
10. J. Basbagill, F. F. M. L. M. F., 2013. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, Issue 60, pp. 81-92.
11. Petrovic, B. et al., 2018. *Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden*. Hong Kong, Science Direct.
12. Rabo, O., 2020. *Cooler Future*. [Online] Available at: <https://www.coolerfuture.com/blog/co2e> [Accessed 2 June 2022].
13. Röck, M. et al., 2020. *Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective*, Gratz: Applied Energy.
14. Valencia-Barba, Y. E. & Gómez-Soberón, J. M., 2019. *LCA Analysis of Three Types of Interior Partition*. Edinburgh, MDPI.
15. Vigovskaya, A., Aleksandrova, O. & Bulgakov, B., 2018. *Life Cycle Assessment (LCA) of a LEED certified building*. Moscow, IOP.

ĮVAIRIŲ IŠORINIŲ ATITVARŲ KONSTRUKCIJŲ PALYGINIMAS PAGAL CO₂ EMISIJĄ

Anotacija

Darbe analizuojamos įžvalgos apie sprendimų priėmimą remiantis pastato gyvavimo ciklo vertinimu, daugiausia dėmesio skiriant CO₂ emisijai. Pagrindinis šio tyrimo tikslas – statybinių medžiagų poveikio aplinkai vertinimas tipiškam Lietuvos vasarnamiui su One Click LCA programine įranga. Tyrimas orientuotas į vasarnamiams naudojamų statybinių medžiagų su įvairių tipų tvariomis išorinėmis sienomis globalinio atšilimo potencialo palyginimą, taikant kiekybinį metodą. Geriausi rezultatai buvo gauti pastato sienoms parenkant išorinėms sienoms šiaudų skydus (pastato emisija sudarė 35,5 t CO₂e) bei surenkamą medinę sieną (pastato emisija – 35,56 t CO₂e).

TRUMPALAIKIO APGYVENDINIMO PASTATŲ MEDŽIO KONSTRUKCIJŲ IŠORINIŲ SIENŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Violeta Medelienė, Karolis Žižys
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šiuo metu Lietuvos statybos sektoriuje vyksta transformacija- perėjimas į naują etapą, kuriame grįžtama prie medinės statybos. Neseniai vyriausybės priimtas nutarimas įpareigoja statant visuomeninės paskirties pastatus panaudoti 50% medienos ir kitų organinių medžiagų (Lietuva prisijungė prie įkuriamos Europos medienos politikos platformos, 2023). Atsižvelgiant į šį reikalavimą, tokie pastatai gali būti projektuojami su medinėmis rąstinėmis sienomis, tradiciniais karkasais iš skirtingų laikančių elementų, skydiniai, arba tik su medinių elementų fasadais. Išsirinkti tinkamiausią variantą ne visada būna lengvas uždavinys.

Šio tyrimo tikslas- išanalizuoti trumpalaikio apgyvendinimo pastatų medžio konstrukcijų išorinių sienų variantus ir įvertinti jų efektyvumą pagal techninių ekonominių ir kokybinių rodiklių sistemą.

Straipsnyje pateikiama detali išorinių medinių sienų variantų analizė, nustatomi aktualūs vertinimo rodikliai ir, atlikus daugiakriterinį vertinimą, nustatomas efektyvus medinės išorinės sienos sprendinys.

Reikšminiai žodžiai: medžio konstrukcijų išorinės sienos, daugiakriterinė analizė, vertinimo rodikliai, teorinis reikšmingumas, subjektyvus reikšmingumas, naudingumo vertės metodas, racionalus sprendinys.

Ivadas

ES ir Europos Komisijai skatinant CO₂ išmetimo mažinimą bei žiedinės ekonomikos principus statybos sektoriuje, atsiranda didelis iššūkis transformuotis ir pradėti naudoti medžiagas, kurios savo gamybos procese išmeta mažiau CO₂. Naudojamos medžiagos turėtų būti perdirbamos ir galėtų dar kartą pasiekti gamybos procesą. Europos Sąjungai prabilus apie būtinybę diegti pokyčius statybų ir renovacijos sektoriuose, dėmesio centre atsidūrė mediena – organinė, efektyviai CO₂ užrakinanti medžiaga. (Laukia dideli statybų sektoriaus pokyčiai, 2021).

Mediena laikoma viena kilniausių statybinių medžiagų – ją mėgsta daugelis pasaulio architektų. Medis suteikia statiniui estetinę, struktūrinę ir praktinę vertę. Naudojant įvairias technologijas, pavyzdžiui, klijuotą medieną, šiuolaikinės medinės konstrukcijos tampa ne tik tokios pat ilgalaikės, kaip ir unikalūs mediniai istoriniai statiniai, bet ir tampa šiuolaikiniais geriausiais architektūros bei dizaino pavyzdžiais. Atsiradus naujoms technologijoms padidėjo galimybės medines konstrukcijas naudoti ne tik laikiniams paviljonams ir individualiems namams, bet ir ir daugiaaukščių pastatų statybai. Tokia konstrukcinė mediena nenusileidžia daugeliui kitų medžiagų, tokių kaip plienas, plytos ar net betonas (Medinės konstrukcijos: tvari statyba ir neįtikėtinos galimybės, 2021). Viena iš tokių konstrukcijų, kurioms plačiai naudojama mediena, yra pastatų išorinės sienos.

Medinės sienos yra gaminamos iš natūralių medžiagų: beržo, eglės ar buko, ir jos dažnai naudojamos, norint sukurti natūralią ir šiltą aplinką. Be to, medinės sienos yra gerai šilumą izoliuojančios ir atsparios vandeniui, o tai reiškia, kad jos gali palaikyti savo funkcijas ilgą laiką.

Pastatų išorinėms sienoms naudojamos tašų, rąstų, klijuotos medienos, sijų ir kt. konstrukcijos.

Projektuotojams iškyla natūralus klausimas- kurių iš šių medinių išorinių sienų konstrukcijų panaudojimas yra efektyvesnis ir kaip jos atrodo kitų sienoms naudojamų tvarių medžiagų kontekste?

Šiame tiriamajame darbe keliamas tikslas- išanalizuoti trumpo apgyvendinimo pastatų tvarių išorinių sienų variantus ir, atlikus daugiakriterinį vertinimą, nustatyti efektyvų sprendinį.

Tyrimo objektas- trumpalaikio apgyvendinimo pastatų tvarių medžiagų išorinės sienos.

Trumpalaikio apgyvendinimo pastatų išorinių sienų sprendinių vertinimas buvo atliekamas etapais, naudojant atitinkamus tyrimo metodus: 1 etapas- maitinimo paskirties pastato išorinių sienų variantų analizė ir atranka, naudojant informacijos šaltinių analizės metodą; 2 etapas- aktualių vertinimo aspektų nustatymas, kriterijų sistemos sudarymas ir jų reikšmių skaičiavimas, naudojant alternatyvių projektų analizės, ekspertinės apklausos metodus; 3 etapas- kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus; 4 etapas- efektyvaus išorinių sienų sprendinio nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Medžio konstrukcijų išorinių sienų alternatyvių sprendinių analizė

Analizei pasirinkti dažniausiai sutinkami medinių išorinių sienų variantai: išorinės sienos iš rąstų (A1); medinės karkasinės sienos iš tašų (A2); karkasinės sienos iš medinių dvitėjinių sijų (A3) ir palyginimui pasirinktas išorinės sienos variantas iš akyto betono blokelių (A4). Pati sienos konstrukcija projektuojama taip, kad ji užtikrintų norminius šiluminius reikalavimus tokios paskirties pastatams.

Išorinės sienos iš rąstų (A1) įrengiamos iš vienalytės konstrukcijos – rąstų, sudedamų vienas ant kito (žr. 1.1 pav.). Kampuose rąstai vieni su kitais surišami specialiomis jungtimis. Pagal pagaminimo būdą rąstinės sienos skirstomos į rankinio apdirbimo (žiūr. 2 pav.), mašininio apdirbimo (žiūr. 3 pav.) ir naujausias- klijuotų rąstų (žiūr. 1 pav.) sienas.



1 pav. Išorinės sienos iš klijuotų rąstų
Šaltinis: Klijuoto tašo namai.
http://www.mnqa.lt/klijuoto_taso_namai



2 pav. Išorinės sienos iš rankinio apdirbimo rąstų
Šaltinis: Rankų apdirbimo rąstų sienos.
<https://www.google.lt/search?q=rankinio+apdirbimo+r%C4%2585st%C5%B3>



3 pav. Mašininio apdirbimo rąstų sienos
Šaltinis: Mašininio apdirbimo rąstų namai.
<http://www.rastinis-namas.lt/lt/index.php?page=3&sub=1>



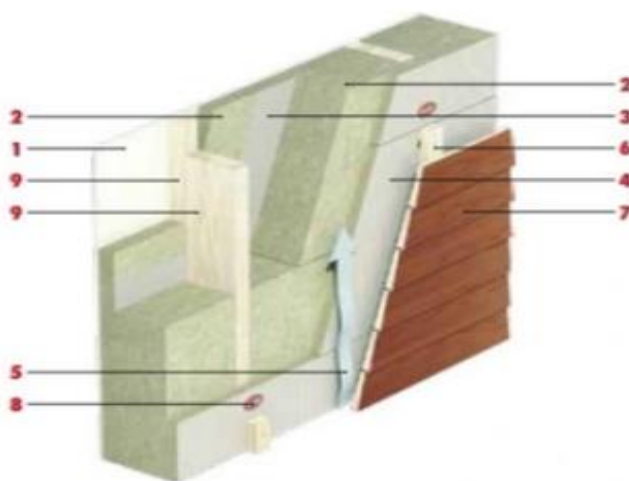
4 pav. Rąstinės sienos apšiltinimas iš vidaus: 1- rąstų siena; 2- oro tarpas; 3- Superrock Premium akmens vata; 4- Superrock Premium akmens vata; 5- garo izoliacinė plėvelė; 6- gipso kartono plokštė ir vidaus apdaila
Šaltinis: Rąstinio namo šiltinimas iš vidaus.
<https://www.rockwool.com/lt/gaminiai-ir-panaudojimas/fasadu-izoliacija/vedinamu-fasadu-siltinimas/rastinio-namo-siltinimas-is-vidaus/>

Rąstinių sienų apšiltinimas galimas tik iš vidinės pastato dalies ir tik naudojant garams laidžias šiltinimo medžiagas (žiūr. 4 pav.)

Medinės karkasinės sienos (A2) surenkamos iš gamyklose pagamintų elementų (žr. 5 pav.). Įrengiant tokio tipo sienas pirmiausiai ant pamato dedama hidroizoliacija, po to ant pamatuose esančių inkarinių varžtų montuojama apatinė tašų eilė ant kurių statomi vertikalūs statramsčiai. Viršuje statramsčiai visu pastato perimetru sujungiami horizontaliais tašais. Karkasas šiltinamas tarp statramsčių dedant mineralinę vatą, po to iš lauko ir vidaus pusių įrengiama atitinkama sienų apdaila (žiūr. 6 pav.).



5 pav. Medinė karkasinė siena iš tašų
 Šaltinis: Karkasinių namų statyba.
<https://karkasinisnamas123.lt/karkasiniu-namu-statyba/>

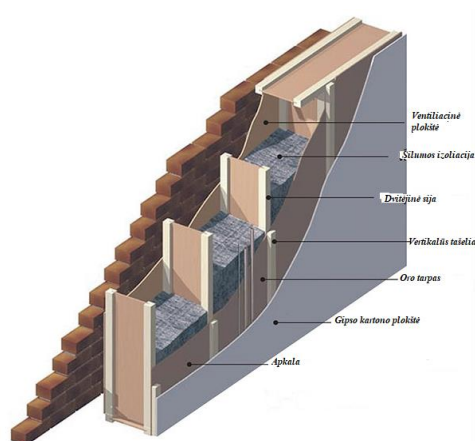


6 pav. Karkasinės sienos šiltinimo detalė: 1- vidaus apdaila; 2- šilumos izoliacija Paroc Extra; 3- orą ir garus izoliuojantis sluoksnis Paroc XMV 020 bas; 4- apsauga nuo vėjo Paroc Cortex ar kt.; 5- vėdinamasis oro tarpas; 6- vertikalus tašas; 7- išorės apdaila- lentų apkala; 8- tvirtinimo elementas; 9- tašas
 Šaltinis: Karkasinės sienos šiltinimas: sumuštinis
<https://statomenama.wordpress.com/2017/06/13/karkasines-sienos-sumustinis/>

Karkasinės sienos iš dvitėjinių sijų STEICOWall (A3) yra ypač tinkamos tais atvejais, kai projektuojami pastatai, kuriems keliama itin aukšti šilumos izoliacijos reikalavimai. STEICOWall sistemą sudaro statramstis su gamintojo įrengta vidurinės jungiamosios dalies izoliacija (žiūr. 7 pav.). Jį labai nesudėtinga sujungti su šilumine izoliacija, esančia tarpe tarp STEICO karkasinės sienos arba STEICO konstrukcinių elementų, kadangi jo pjūvis yra stačiakampis. Naudojant dvitėjines sijas drauge su kitomis karkasinėje statyboje plačiai naudojamomis medžiagomis, gaunamos solidžios sienų konstrukcijos, tenkinančios tiek šiluminius, tiek gaisrinės saugos reikalavimus (žiūr. 8 pav.).



7 pav. Karkasinės sienos iš medinių dvitėjinių sijų
 Šaltinis: Medinės dvitėjinės sijos.
<https://www.sveikastatyba.lt/prekiu-katalogas/steico-joist-dvitejiniu-siju-sistema/>



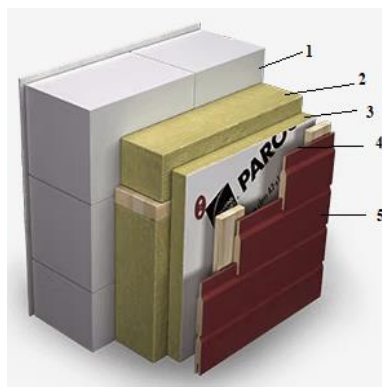
8 pav. Karkasinės sienos iš dvitėjinių sijų apšiltinimas
 Šaltinis: STEICOWall .
<https://www.hesora.lt/steico/produkcija/steico-wall/>

Akyto betono arba dujų silikato blokeliai (A4) yra vieni šilčiausių mūro sienoms naudojamų medžiagų (žiūr. 9 pav.), ypač populiarūs Skandinavijos šalyse. Dėl porėtos struktūros akytis betonai be puikių šilumos izoliacijos savybių pasižymi ir geromis garso izoliacijos savybėmis. Atsižvelgdami į šiuolaikinius reikalavimus pasiekti pastatuose A++ energetinę klasę, gamintojai nuolat tobulina gamybos technologijas, kuria naujus produktus, siūlo kompleksinius sprendinius (Namo statyba iš akyto betono blokelių, 2022). Dažniausiai naudojamos išorinių sienų sistemos: 1- akyto betono blokeliai + polistireninis putplastis + dekoratyvinis tinkas arba klijuojamos klinkerio plytelės; 2- akyto betono blokeliai + mineralinė vata +

medinės dailylentės arba apdailos plytos. Tyrime analizuojama akyto betono blokelių siena su mineralinės vatos apšiltinimu ir ventiliuojama medinių dailylenčių apdaila (žiūr. 10 pav.).



9 pav. Akyto betono blokelių mūro siena
Šaltinis: Namo statyba iš akyto betono blokelių, 2022. <https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/72/1/0/17/article/15608/namo-statyba-is-akytbetonio-blokeliu>



10 pav. Akyto betono blokelių mūro sienos apšiltinimas:
1- laikančioji sienos konstrukcija iš blokų; 2- Medinis karkasas/šilumos izoliacija; 3- 30 mm apsauga nuo vėjo; 4- 25 mm vėdinamas oro tarpas; 5- medinių lentelių apdaila

Šaltinis: Mūro sienos, Paroc, 2022.
<https://www.paroc.lt/sprendimai/statybine-izoliacija/vedinamos-sienos/muro-sienos>

Medžio konstrukcijų išorinių sienų efektyvaus sprendinio nustatymas

Pastaruoju metu tiek teoriniams tyrimams, tiek praktiniams uždaviniams spręsti vis plačiau taikomi daugiakriterinio vertinimo būdai (Figueira et al. 2005; Ginevičius et al., 2008; Tan Tan et al., 2021; Sanchez-Garrido, A. et al., 2022). Taip yra dėl jų universalumo, nes galima kiekybiškai įvertinti bet kurį sudėtingą reiškinį, išreikštą daugeliu rodiklių. Jie turi ir tą privalumą, kad į vieną apibendrinamąjį rodiklį jungia tiek maksimizuojančius, tiek minimizuojančius įvairiomis dimensijomis išreikštus rodiklius, t. y. tokius, kuriems augant, vienais atvejais nagrinėjamo reiškinio situacija gerėja, kitais – blogėja (Ginevičius et al., 2008).

Toks jungimas įmanomas dėl normalizavimo, kai visi rodikliai paverčiami bedimensiais, t. y. tarpusavyje palyginimais (Ginevičius et al., 2007), dėl ko galima sudaryti analizuojamų sprendinių (alternatyvų) prioritetus. Tokios prioritetų eilutės leidžia nustatyti geriausią arba vieną iš geriausių analizuojamų variantų (alternatyvų).

Šiame tyrime efektyviam medinių išorinių sienų varianto nustatymui naudotas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas, o kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus.

Trumpo apgyvendinimo pastatų išorinių sienų sprendiniai turi būti estetiški, tvarūs, ilgaamžiai, atkreipiantys dėmesį ir pritraukiantys klientų srautus. Be šių aspektų vertinimui labai svarbi sienų kaina, įrengimo trukmė bei sienų įrengimo sudėtingumas. Todėl tyrime išorinių sienų sprendinių vertinimui parinkti tokie vertinimo rodikliai: medžiagų kaina K1(Eur/m²), ilgaamžiškumas K2 (metai), sienų įrengimo trukmė K3 (dienos), įrengimo sudėtingumas K4 (balai), estetiškas vaizdas (balai). Tyrimo metu gautos rodiklių skaitinės reikšmės pateiktos 1-oje lentelėje.

1 lentelė

Vertinimo rodiklių skaitinės reikšmės

Variantai	Rodikliai				
	K1	K2	K3	K4	K5
Siena iš rąstų (A1)	150	100	7	4	10
Karkasinė siena iš medinių tašų (A2)	170	50	14	2	8,5
Karkasinė siena iš medinių dvitėjinių sijų (A3)	130	60	7	1	9,5
Mūrinė siena iš akyto betono blokelių (A4)	300	75	21	3	8

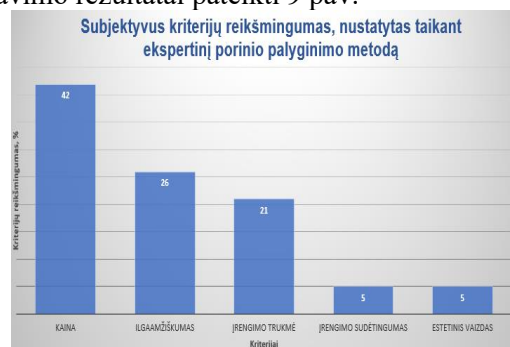
Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimui parinktų rodiklių reikšmingumas skaičiuotas, taikant teorinį Entropijos metodą (Zavadskas, Kaklauskas, 1996: 68-73; Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė, 2001:139-141) ir ekspertinį

porinio palyginimo metodą (Zavadskas, Kaklauskas, 1996: 43-56; Zavadskas, Simanauskas, Kaklauskas, 1999: 124-127). Vertinimo rodiklių reikšmingumo skaičiavimo rezultatai pateikti 9 pav.



9 pav. Teorinis vertinimo rodiklių reikšmingumas
Šaltinis: Sudaryta autorių



10 pav. Subjektyvus vertinimo rodiklių reikšmingumas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Statybos praktikoje vienas iš daugiataksliam sprendinių vertinimui naudojamų metodų yra naudingumo vertės metodas. Vokiškai kalbančiose šalyse šis metodas vadinamas „naudingumo vertės analize“ (*Nutzwertanalyse*). Naudojant šį metodą, atrenkamas tas projektinis sprendimas, kurio naudingumo vertė yra didžiausia (Zavadskas, Kaklauskas, Banaitienė, 2001; 232-235; Ginevičius et al., 2008; p. 77-79). Taikant šį metodą, vertinimas atliekamas tokiais etapais: 1- sudaroma pradinė duomenų matrica; 2- nustatomas kiekvieno kriterijaus optimalumas; 3- atliekamas matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą; 4- pasirinkus vertinimo skalę, apskaičiuojamas kriterijų naudingumas balais ir sudaroma kriterijų naudingumo matrica; 5- kadangi apskaičiuoti teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai, sudaromos svertinės matricos ir nustatomas efektyvus išorinės sienos sprendinys.

Išorinių sienų variantų rodiklių naudingumo skaičiavimo rezultatai pateikti 3-čioje lentelėje Medinių išorinių sienų variantų naudingumo grafinis vaizdas pateiktas 11 pav.

2 lentelė

Rodiklių naudingumas, įvertinus teorinį ir subjektyvų jų reikšmingumus

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}_t$				$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
19	1653	1444	1900	817	42	3654	3192	4200	1806
15	1500	750	900	1125	26	2600	1300	1560	1950
30	3000	1500	3000	990	21	2100	1050	2100	693
30	750	1500	3000	990	5	125	250	500	165
4	400	340	380	320	5	500	425	475	400
$\Sigma 100$	7303	5534	9180	4242	100	8979	6217	8835	5014

Šaltinis: sudaryta autorių



11 pav. Medinių išorinių sienų sprendinių naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai
Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus daugiakriterinį tvarių medžiagų išorinių sienų variantų vertinimą nustatyta, kad kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausi kriterijai – įrengimo trukmė ir įrengimo sudėtingumas, efektyviausias variantas- dvitėjinių medinių sijų karkasinė siena.

2. Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai –kaina ir ilgaamžiškumas, racionaliausias variantas- rąstų siena. Tačiau šiuo atveju beveik lygiaverčiai galėtų būti svarstomas ir medinių dvitėjinių sijų karkasinės sienos variantas.

3. Atsižvelgiant į tai, kad projektuojant rąstines sienas sunku pasiekti A++ klasės reikalavimus jų nešiltinant, o šiltinant iš vidaus prarandamas rąstinės sienos estetiškas vaizdas, todėl pagal daugiakriterinio vertinimo rezultatus- efektyviausias būtų medinių dvitėjinių sijų apšiltintas išorinės sienos karkasas.

Literatūra

1. Akyto betono blokelių mūrijimas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 03]. Prieiga per internetą: <https://www.roclite.lt/blokeliu-murijimas/>
2. Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. 2005. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey. Springer
3. Ginevičius, R., Podvezko, V. 2007. Complex assessment of sustainable development of state regions with emphasis on ecological and dwelling conditions.- Ekologija [Ecology] 53(Supplement):p. 41-48.
4. Ginevičius, R.; Podvezko. Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas.- Verslas: teorija ir praktika, 2008, 9 (1): p. 73-80.
5. Karkasinės sienos šiltinimas: sumuštinis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 14]. Prieiga per internetą: <https://statomenama.wordpress.com/2017/06/13/karkasines-sienos-sumustinis/>
6. Karkasinių namų statyba. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 18]. Prieiga per internetą: <https://karkasinisnamas123.lt/karkasiniu-namu-statyba/>
7. Klijuoto tašo namai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 1 15]. Prieiga per internetą: <http://www.mnga.lt/klijuoto-taso-namai>
8. Laukia dideli statybų sektoriaus pokyčiai: NT pirkėjams tvarumas ir aplinkosauga taps svarbiausiu prioritetu. 2021. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 09 15]. Prieiga per internetą: <https://www.delfi.lt/bustas/statyba/laukia-dideli-statybu-sektoriaus-pokyciai-nt-pirkejams-tvarumas-ir-aplinkosauga-taps-svarbiausiu-prioritetu-86556597>
9. Lietuva prisijungė prie įkuriamos Europos medienos politikos platformos [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 14]. Prieiga per internetą : <https://sa.lt/lietuva-prisijunge-prie-ikuriamos-europos-medienos-politikos-platformos/>
10. Mašininio apdirbimo rąstų namai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 14]. Prieiga per internetą: <http://www.rastinis-namas.lt/lt/index.php?page=3&sub=1>
11. Medinės dvitėjinės sijos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 24]. Prieiga per internetą: <https://www.sveikastatyba.lt/prekiu-katalogas/steico-joist-dvitejiniu-siju-sistema/>
12. Medinės konstrukcijos: tvari statyba ir neitiktinos galimybės. 2021. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023- 10-10]. Prieiga per internetą: <https://structum.lt/medines-konstrukcijos-tvari-statyba-ir-neitiktinos-galimybės/>
13. Mediniai namai (GetHouse.Lt). [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 16]. Prieiga per internetą: <https://www.gethouse.lt/mediniai-namai>
14. Paroc Mūro sienos su mediniu karkasu, 2022. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 30]. - Prieiga per internetą: <https://www.paroc.lt/sprendimai/statybine-izoliacija/vedinamos-sienos/muro-sienos>
15. Rankų apdirbimo rąstų sienos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 03]. Prieiga per internetą: <https://www.google.lt/search?q=rankinio+apdirbimo+r%25C4%2585st%25C5%25B3>
16. Sanchez-Garrido, A., Navarro, I.J., Yepes, V. Multi-criteria decision-making applied to the sustainability of building structures based on Modern Methods of Construction.- Journal of Cleaner Production, Volume 330, 2022. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621039019>
17. SteicoWall dvitėjinių sijų sistema, skirta naudoti sienų konstrukcijose. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 16]. Prieiga per internetą: <https://www.hesora.lt/steico/produkcija/steico-wall/>
18. Tan Tan, Mills G, Papadonikolaki E., Zhening Liu. Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review [interaktyvus].- Journal Automation in Construction, Volume 121, 2021. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction/vol/121/suppl/C>
19. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A. Pastatų sistemotechninis įvertinimas.- Vilnius, Technika.1996,280 p.
20. Zavadskas E.,K., Simanuskas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.
21. Zavadskas E.,K., Simanuskas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje. Vilnius, Technika, 1999. 236 p.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF EXTERNAL WALLS OF WOOD STRUCTURES OF SHORT-TERM ACCOMMODATION BUILDINGS

Summary

The construction sector in Lithuania is presently undergoing a transformative phase where the emphasis is on the use of wooden materials in construction. A recent government resolution mandates that public buildings must contain 50% wood and other organic materials in their construction. In furtherance of this initiative, Lithuania joined the newly established European Wood Policy Platform in 2023 to promote the use of wood in construction. Considering this requirement, such buildings can be designed with wooden log walls, traditional frames of different supporting elements and panels, or only wooden element facades. Choosing the most suitable option is not always an easy task.

The purpose of this study is to conduct an analysis of the various external wall variants used in wooden constructions of short-term accommodation buildings. The effectiveness of these variants will be evaluated based on a system of technical, economic, and qualitative indicators.

The article presents a comprehensive analysis of various external wooden wall options, identifies pertinent evaluation indicators, and employs multi-objective evaluation techniques to determine an optimal solution for a wooden external wall.

Key words: external walls of wooden constructions, multi-criteria analysis, evaluation indicators, theoretical significance, subjective significance, utility value method, rational decision.

PRAMONINIO PASTATO IŠORINIŲ SIENŲ TVARUMO ANALIZĖ

Matas Sragauskas, Rosita Norvaišienė

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Projektuojant pastatą, privalu atsižvelgti ne tik į jo išvaizdą ir kainą, bet ir į tvarumo bei ekologijos santykį. Ekologija statybose yra viena iš siekiamų tikslų, todėl medžiagos, kurios buvo plačiai naudojamos statybose, tokios kaip – gelžbetonio ir mūro konstrukcijos, yra keičiamos mažiau gamtai taršiomis organinėmis medžiagomis, perdirbamomis arba pakartotinai panaudojamomis.

Vieno aukšto pramonės pastatas buvo suprojektuotas pasirenkant ekologiškas statybines medžiagas (kryžmiškai laminuotas plokštės CLT ir medžio plaušo termoizoliacinę medžiagą) ir įprastas daugiasluoksnes „sandwich“ tipo plokštės su EPS, MW ir PP užpildais. Pastatų tvarumo palyginimui buvo naudojama gyvavimo ciklo vertinimo programa „One Click LCA“. Rezultatai parodė, kad pastato sienas projektuojant iš CLT plokščių su medžio plaušo termoizoliacija, visuotinio šiltėjimo potencialas GWP sumažinamas 5 kartus naudojamų medžiagų atžvilgiu.

Reikšminiai žodžiai: kryžmiškai laminuotos medienos plokštės (CLT), gyvavimo ciklo vertinimas, One Click LCA.

Santrumpos:

<i>GWP</i>	Global Warming Potential	Visuotinio šiltėjimo potencialas. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų klimato atšilimo potencialas, palyginti su anglies dioksido (CO ₂) potencialu.
<i>LCA</i>	Life Cycle Analysis	Gyvavimo ciklo vertinimas.
<i>CLT</i>	Cross Laminated Timber	Kryžmiškai laminuota mediena
<i>PET</i>	Polyethylene Terephthalate	Polietileno tereftalatas, plačiai paplitęs plastikas iš poliesterio šeimos. Iš jo daromi gaiviųjų gėrimų buteliai, skaidrios plėvelės, tekstilinis pluoštas (ir audiniai) ir kt.

Ivadas

Klimato kaitos švelninimas, iškastinio kuro naudojimo mažinimas ir mažai anglies dioksido į aplinką išskirianti ekonomika – tai Europos kertiniai akmenys įgyvendinant bioekonomikos strategiją (European Green deal, 2023). ES įsipareigojo iki 2030 m. pasiekti šiuos tikslus: bent 40 proc., palyginti su 1990 m. lygiu, sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį, 32,5 proc. padidinti energijos vartojimo efektyvumą ir padidinti atsinaujinančiųjų išteklių energijos dalį iki 32 proc. galutinio vartojimo kiekio (Aleinikovas, 2019).

Statybų pramonės plėtra link tvaresnių sprendimų ir technologijų vaidina lemiamą vaidmenį mūsų planetos atečiai. Didėjantis tvaresnės statybos poreikis lemia tai, kad gelžbetoninių, plieninių konstrukcijų pastatus keičia mediniai. Žvelgiant į ateitį, medienos panaudojimas statybose bus neišvengiamas, taip pastatas taps ekonomiškesnis ir mažiau taršus aplinkai. Lietuva, turinti pakankamai miškų, biokuro ir biomasės išteklių, kvalifikuotos darbo jėgos, eksportuoja apie 80 proc. klijuotos laminuotos medienos medinėms konstrukcijoms gaminti ir tik 20 proc. yra panaudojama vietinėms reikmėms (Andersen, 2022). Šiuo metu statybų sektoriuje medienos gaminių nėra daug, tačiau tai tampa vis populiareesnė statybos konstrukcinė medžiaga, kuri yra tvirti, stipri ir plačiai panaudojama. Viena iš medienos konstrukcinių medžiagų yra CLT (kryžmiškai laminuotos medienos) plokštės. CLT ypač išpopuliarėjo Vakarų Europoje kaip perspektyvi alternatyva tradiciniams statybos būdams. CLT gamybai naudojama ekologiška žaliava – mediena, suklijuojant ją į skydus kurių gabaritai gali būti iki 16,5 m x 30,0 m x 5,0 m. CLT medienos plokštė turi panašias savybes, kaip ir g/b plokštė, bet yra lengvesnė, paprasčiau apdirbama ir montuojama, o tai pagreitina ir atpigina statybą.

CLT plokštės yra sudarytos iš kelių sluoksnių, kurie yra suklijuojami vertikalia ir horizontalia kryptimi viena ant kitos, taip garantuojant plokštės atsparumą ją veikiančioms apkrovoms. Kryžmiškai laminuotos medienos plokščių tipai yra trys: tipinės konfigūracijos t. y. vertikalia ir horizontalia kryptimi klijuotos medienos elementai, 45, 90 laipsnių kampu konfigūracijos plokštė ir CLT dėžė. CLT plokštė gali būti naudojama kaip vidinių ir išorinių sienų, stogo, lubų ir grindų elementas, taip pat kaip linijinis medienos elementas, kuris gali atlaikyti apkrovas plokštumoje (Durlinger, 2016). Medienos konstrukciniai gaminiai tampa vis populiarešni ne vien dėl kylančių statybos teisinių reglamentų reikalavimų, bet ir dėl to, kad tai statybinė medžiaga, išskirianti mažiau teršalų jos gamybos metu ir gaminama iš atsinaujinančių išteklių. Dar vienas CLT plokščių privalumas yra tai, kad CLT plokštės surenkamos gamykloje, kas stipriai pagreitina statybų eigą. Didelis medienos stiprumo ir mažo svorio santykis yra didelis privalumas pastatams, kuriems yra ribojama bendra statinio masė (Brander, 2016: 331-351). Kryžmiškai laminuotos medienos plokštės gaminamos kaip vientisa medžiaga, kurios suklijuojamos tarpusavyje aplinkai nekenksmingais, tačiau labai stipriais klijais. Dėl jų tvirtumo, CLT plokštės gali būti naudojamos kaip konstrukcinės sijos, kurios išlaiko dideles apkrovas, užtikrina pakankamą garso bei šilumos izoliaciją. Panaudojimo galimybės yra labai didelės,

todėl inžinieriams tai labai palanki konstrukcinė medžiaga, leidžianti suprojektuoti gamtai nekenksmingus, išvaizdžius pastatus (Chen, 2021).

Gyvavimo ciklo vertinimas (angl. *Life Cycle Assessment (LCA)*) – tai metodas, kuriuo sistemiškai analizuojamas statybos produktų poveikis mus supančiai aplinkai visuose jų gyvavimo etapuose – nuo žaliavų gavybos, gamybos, įrengimo iki naudojimo ir nugriovimo. Skaičiavimo programa „One Click LCA“ apima visų statybos produktų gyvavimo ciklo etapų skaičiavimus, kaip apibrėžta EN 15978, įskaitant statybos produktus ir procesus, pastato naudojimą, priežiūrą, energijos ir vandens suvartojimą, eksploataavimo pabaigos poveikį. Be to, naudojant One Click LCA galima keisti ir pasirinkti statybines medžiagas bei planuoti anglies dvideginio išmetimų mažinimą. Skirtingų dizaino alternatyvų poveikio palyginimas yra naudingas priimant projektinius sprendimus, nes LCA metodika yra pagrįsta patikimais duomenimis ir yra visapusiškai standartizuota, o tai suteikia vartotojui pasitikėjimo ją įgyvendinti projektuojant tvarius pastatus.

Tyrimo objektas- pramoninis pastatas su skirtingomis išorinių sienų konstrukcinėmis medžiagomis.

Darbo tikslas – pramoninio pastato tvarumo analizė, vertinant 4 skirtingas išorinių sienų medžiagas (CLT plokštės ir daugiasluoksnes sienines plokštės su skirtingais termoizoliaciniais užpildais).

Pastato išorinių sienų įtaka pramoninio pastato ilgaamžiškumui buvo nagrinėjama kiekybiškai įvertinant ir palyginant juos tvarumo ir ilgaamžiškumo požiūriu gyvavimo ciklo vertinimo programa „One Click LCA“.

Literatūros apžvalga

Kryžmiškai laminuotos medienos plokštės yra alternatyva betonui ir plienui, kurie į aplinką išskiria didžiausią energijos ir anglies dioksido emisijų kiekį. IEA (International Energy Agency) duomenimis, pagaminus toną plieno, į aplinką išskiriama apie 1,4 tonos CO₂, o tai sudaro beveik 8 % viso pasaulio išmetamų CO₂ emisijų kiekį į aplinką (Dolgunovas, Norvaišienė, 2023). Kasmet pagaminama apie 4 milijardai tonų cemento, kurio viena tona, priklausomai nuo cemento rūšies, sudaro nuo 250 kg iki 930 kg CO₂ emisijų į aplinką (Younis, Ambrose, 2022). Tyrimai parodė, kad CLT plokščių panaudojimas statybose sumažina aplinkos taršą beveik perpus, lyginant su gelžbetonio konstrukcijomis, o jų eksploatacija nereikalauja didelių energijos sąnaudų (Younis, Ambrose, 2022). Be to, kryžmiškai laminuotos medienos plokštės galima pakartotinai panaudoti, todėl tai dar labiau sumažina CO₂ emisijų pėdsaką aplinkoje (Younis, Ambrose, 2022).

Pastaraisiais metais Europos šalys rodo vis didesnę susidomėjimą CLT produktais ir LCA naudojimu statybos projektų analizei (Younis, Ambrose, 2022; Izzi, 2018: 42-52; Lipcaneanu, Amanatidis, 2023). Durlinger ir kt. 2016 m. atliko kryžmiškai laminuotos medienos plokščių panaudojimo daugiaaukščiams gyvenamiesiems pastatams Australijoje LCA tyrimą. Tyrimas parodė, kad kryžmiškai laminuotos medienos gaminio panaudojimas pastato gamybai daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai, lyginant su pastatu, kuriame pagrindė vyrauja betoninės konstrukcijos (Durlinger, 2016). Keletas autorių atliko pastato gyvavimo ciklo vertinimą (LCA), kurių metu gelžbetonio konstrukcijos buvo lyginamos su CLT plokščių konstrukcijomis daugiaaukščiams pastatams, skirtingose šalyse (1 lentelė). Visuotinio atšilimo potencialo sumažinimas nepriklauso nuo pastato naudingo ploto ir autoriai pateikia skirtingus LCA analizės rezultatus – nuo 18% iki 50 %.

1 lentelė

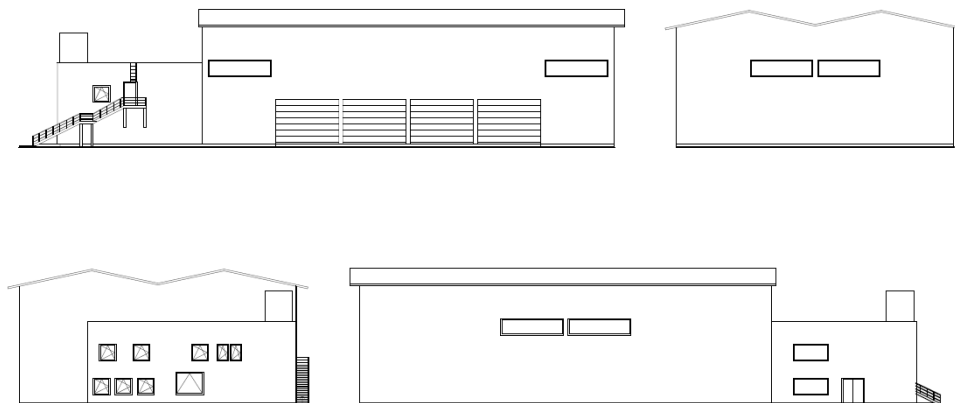
Užsienio autorių pastatų gyvavimo ciklo vertinimas (LCA)

Literatūros šaltinis	Pastato gyvavimo metai	CLT pastato charakteristika	CLT pastato visuotinio atšilimo potencialas (GWP)	Išvados
(Andersen, Ramussen, 2022)	100	8 aukštai, gelžbetoninis rūsys, naudingasis plotas – 3973 m ²	340 kgCO ₂ eq/m ² (Medžiagų gamybai) 454,2 kgCO ₂ ekv/m ² (be biogeninės anglies) 288,5 kgCO ₂ ekv/m ² (įskaitant biogeninę anglį)	LCA rezultatai parodė, kad naudojant CLT konstrukciją visuotinio atšilimo potencialas GWP sumažinamas 50% lyginant su gelžbetonio konstrukcija
Liang, Bergman, Kelly, 2020: 217-229	-	12 aukštų, be rūsio, naudingasis plotas 8360 m ²	193 kgCO ₂ eq/m ²	CLT pastato visuotinio atšilimo potencialas GWP buvo 18% mažesnis lyginant su gelžbetonio konstrukcija
Jayalath, Navaratna, Ngo, Mendis, Hewson, Aye, 2020:223	50	7 aukštai, gelžbetonio konstrukcijos rūsys, naudingasis plotas - 750 m ²	~700–800 kgCO ₂ eq/m ²	Naudojant CLT, visuotinio atšilimo potencialas GWP sumažinamas 30%

Šaltinis: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710222004958>

Darbo metodika

Suprojektuotas 1 aukšto, 906 m² šildomo ploto pramoninis pastatas su administracinėmis patalpomis pagal Lietuvos statybinių techninių reglamentų reikalavimus (1 pav.).



1 pav. Pramoninio pastato fasadai

Šaltinis: sudaryta autorių

Pastatų analizei naudojama pastato gyvavimo ciklo programa One Click LCA visiškai automatizuoja pastato poveikio aplinkai skaičiavimus pagal naudojamas medžiagas, pasirenkamus scenarijus ir pateikia rezultatus kiekvienam gyvavimo ciklo etapui. LCA skaičiavime vertinamas viso pastato sunaudoto CO₂ emisijų kiekis, keičiant pramoninio pastato išorinių sienų konstrukcijas, t.y. išorinės sienos projektuojamos naudojant 4 skirtingus statybos produktus: daugiasluoksnes „sandwich“ tipo sienines plokštes su „QuadCore“ putomis (Sandwich 2), mineraline vata (Sandwich 3), PIR putomis (Sandwich 4) ir CLT sienos konstrukciją, apšiltintą medžio plaušo plokštėmis (CLT) (2 lentelė). Stogo danga visuose pastatų variantuose – daugiasluoksnė stogo plokštė (Sandwich 1). Visų analizuojamų išorinių sienų šilumos perdavimo koeficientas yra vienodas - 0,17 W/(m²K).

2 lentelė

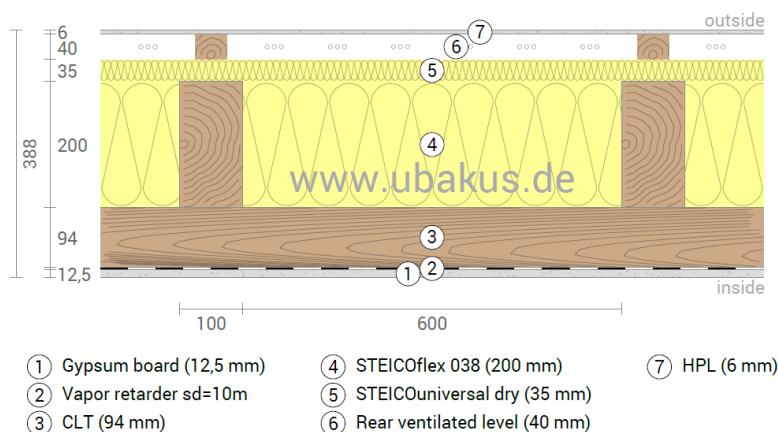
Pramoninės paskirties pastato konstrukcijos

Variantas	Pastatas 1	Pastatas 2	Pastatas 3	Pastatas 4
Konstrukcija	QuadCore	MW	PIR	CLT
Kolonos	g/b	g/b	g/b	g/b
Grindys	g/b	g/b	g/b	g/b
Stogo konstrukcija	Plieninė	Plieninė	Plieninė	Plieninė
Stogas	Sandwich 1	Sandwich 1	Sandwich 1	Sandwich 1
Sienos	Sandwich 2	Sandwich 3	Sandwich 4	CLT

Šaltinis: sudaryta autorių

Detalus išorinių atitvarų aprašymas:

- Sandwich 1 - stogo plokštės KS1000 RW QuadCore® su QuadCore šerdimi, U= 0,15 W/(m²K), storis 120 mm.
- Sandwich 2 – sieninės plokštės KINGSPAN KS1000 AT QuadCore® su QuadCore šerdimi (pagaminta iš 40% perdirbto polietileno tereftalato), U= 0,17 W/(m²K), storis 120 mm.
- Sandwich 3 – sieninės plokštės su mineralinės vatos šerdimi, U= 0,17 W/(m²K), storis 230 mm.
- Sandwich 4 – sieninės plokštės su PIR (poliizocianurato) šerdimi, U= 0,17 W/(m²K), storis 140 mm.
- CLT sienos konstrukcija – gipso plokštė, garo izoliacija, CLT plokštė, medžio plaušo izoliacinis sluoksnis (minkštas), medžio plaušo izoliacinis sluoksnis (kietas), oro tarpas, HPL plokštės. U= 0,17 W/(m²K), storis 388 (2 pav.).



2 pav. Išorinės sienos su CLT plokštėmis sandara

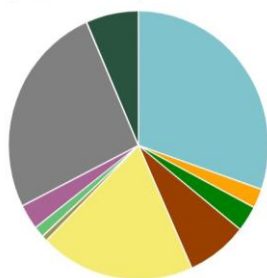
Šaltinis: sudaryta autorių

REZULTATŲ APTARIMAS

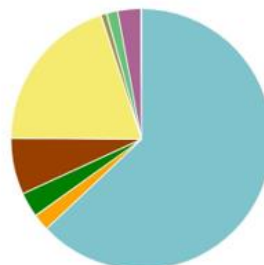
„One Click LCA“ programoje tvarumo požiūriu buvo analizuojamos pastato konstrukcijos pagal jų medžiagiškumą, vietą pastate, svorį bei išskiriamą CO₂e kiekį.

Analizuojant keturių pastatų gyvavimo ciklus, matome, kad suprojektuotame pramoniniame pastate daugiausiai įtakos GWP požiūriu turi statybinių medžiagų išgavimas, jų transportavimas iki statyb vietės ir gamyba (A1-A3) (3 pav.).

Išorinių sienų projektavimui vietoje „sandwich“ plokščių naudojant CLT plokštes, daugiau nei 2 kartus sumažinamas GWP (CLT plokščių atveju medžiagų įtaka GWP yra 30,3%, kai tuo tarpu projektuojant sienas iš „sandwich“ plokščių su įvairiais termoizoliaciniais užpildais– nuo 63,0% iki 66,1%) (3 pav., 3 lentelė).



Pastatas 4 su CLT plokštėmis



Pastatas1 su QuadCore plokštėmis

3 pav. Pramoninio pastato sienų iš CLT sieninių plokščių ir QuadCore „sandwich“ sieninių plokščių palyginimas medžiagų įtakos GWP požiūriu

Šaltinis: sudaryta autorių

Visų tyrime analizuojamų pastatų lyginamieji LCA rezultatai 1 m² grindų plotui pateikti 3 lentelėje. Nustatyta, kad pastato iš CLT plokščių visuotinio atšilimo indėlis buvo 10,7 % mažesnis (215 kg CO₂ e/m²).) nei pastato su MW „sandwich“ plokštėmis (241 kg CO₂e/m²). Analizuojant atskirai „sandwich“ ir CLT plokštes – matome, kad mažiausią poveikį, sukuriant CO₂ pėdsaką, turi CLT plokštės (5,2%), „sandwich“ plokštės su mineralinės vatos užpildu beveik 5 kartus daugiau– 30,4% (3 lentelė).

3 lentelė

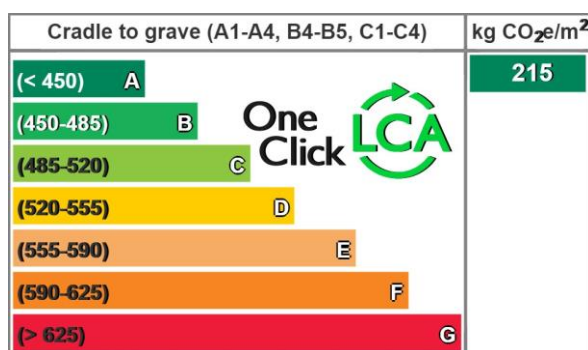
Pastato elementų, medžiagų įtaka visuotiniam šiltėjimo potencialui (GWP) („One Click LCA“)

	GWP, kg CO ₂ e			Elemento svoris, %	LCA, kg CO ₂ e/m ²
	Išorinės sienos, %	Medžiagos, %	Sandwich, CLT, %		
Pastatas1 QuadCore	14,9	63,0	21,6	16,3	207
Pastatas 2 MW	24,5	66,1	30,4	19,1	241
Pastatas 3 PIR	19,8	64,8	26,1	16,6	224
Pastatas 4 CLT	17,6	30,3	5,2	24,7	215

Šaltinis: sudaryta autorių

Didžiausias viso pastato poveikis GWP – 241 kg CO₂e per 80 pastato gyvavimo metų sukuriamas, kai pastatas yra projektuojamas iš „sandwich“ plokščių su mineralinės vatos užpildu. Beveik panašus poveikis gaunamas projektuojant pastatą iš CLT ir „sandwich“ plokščių su PIR užpildu. Mažiausiai CO₂e generuoja Pastatas1 su QuadCore „sandwich“ plokštėmis ir tai yra dėl to, kad QuadCore produktuose naudojamas perdirbtas PET.

Visi analizuoti pastatai neviršija LCA nustatyto aukščiausio A klasės vertinimo - 450 kg CO₂e/m².



4 pav. Pastato 4 (CLT plokštės) LCA vertinimas

Šaltinis: sudaryta autorių

IŠVADOS

Darbe pateikiamas pramoninio pastato statybinių medžiagų poveikio aplinkai vertinimas. Pastato medžiagos turi didžiausią poveikį aplinkai. Analizuojant keturių pastatų gyvavimo ciklus, matome, kad suprojektuotame pramoniniame pastate daugiausiai įtakos GWP požiūriu turi statybinių medžiagų išgavimas, jų transportavimas iki statybietės ir gamyba. Išorinių sienų projektavimui vietoje „sandwich“ plokščių naudojant CLT plokštes, daugiau nei 2 kartus sumažinamas pastato GWP (CLT plokščių atveju medžiagų įtaka GWP yra 30,3%, kai tuo tarpu projektuojant sienas iš „sandwich“ plokščių su įvairiais termoizoliaciniais užpildais– nuo 63,0% iki 66,1%). Analizuojant atskirai „sandwich“ ir CLT plokštes – matome, kad mažiausią poveikį, sukuriant CO₂ pėdsaką, turi CLT plokštės (5,2%), „sandwich“ plokštės su mineralinės vatos užpildu beveik 5 kartus daugiau– 30,4%.

Palyginti su tokiais pačiais pastatais iš „sandwich“ plokščių su įvairiais termoizoliaciniais užpildais, pastatas iš CLT plokščių sumažino visuotinio atšilimo, ozono sluoksnio ardymo ir eutrofikacijos poveikį kategorijose A1-A5.

Tyrimas vykdytas pagal LMT finansuojamą veiklą „Studentų tyrimai semestrų metu“ Nr. P-ST-23-26 „Škersai sluoksniuotos medienos (CLT), gelžbetonio ir plieninio karkaso pastatai: energinio efektyvumo, ilgaamžiškumo ir tvarumo analizė“.

Literatūra

1. A European Green Deal. Europos Komisija. Climate action [interaktyvus]. Prieiga per: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_lt . [žiūrėta 2023-09-24].
2. Aleinikovas, Marius, et al. “Comparative Assessment of the Sustainability Performance of Glue Laminated Timber and Non- Renewable Material-Based Value Chains.” Brazilian Journal of Forestry Research. Colombo : Embrapa Florestas, 2019, Vol. 39, Spec. Iss, 2019, www.vdu.lt/cris/entities/publication/2098cc8b-bef0-45ea-ac1c-4dded3cee285/details.

3. Andersen, Julie Hansted, et al. "Comparative Life Cycle Assessment of Cross Laminated Timber Building and Concrete Building with Special Focus on Biogenic Carbon." *Energy and Buildings*, vol. 254, Jan. 2022, p. 111604, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111604>
4. Bart Durlinger (RMIT Staff Author), Enda Crossin (RMIT Staff Author), James Pow Chew Wong (RMIT Staff Author). Researchrepository. Life cycle assessment of a cross laminated timber building [interaktyvus]. Forest and Wood Products; Melbourne, Australia, 2016. Prieiga per: <https://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/report/Life-cycle-assessment-of-a-cross/9921861834901341>
5. Brandner, R., et al. "Cross Laminated Timber (CLT): Overview and Development." *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, no. 3, 19 Jan. 2016, pp. 331–351, link.springer.com/article/10.1007/s00107-015-0999-5, <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>
6. Chen, Cindy X., et al. "Comparative Life Cycle Assessment of Mass Timber and Concrete Residential Buildings: A Case Study in China." *Sustainability*, vol. 14, no. 1, 23 Dec. 2021, p. 144, <https://doi.org/10.3390/su14010144>
7. Dolgunovas, M., & Norvaišienė, R. (2023). Analysis of Hybrid Timber Construction by Multiple Criteria DecisionMaking Method. In H. Johra (Ed.), *NSB 2023 - Book of Technical Papers: 13th Nordic Symposium on Building Physics* (Vol. 13). [128] Department of the Built Environment, Aalborg University. <https://doi.org/10.54337/aa541025944>
8. Younis, Adel, and Ambrose Dodoo. "Cross-Laminated Timber for Building Construction: A Life-Cycle-Assessment Overview." *Journal of Building Engineering*, vol. 52, July 2022, p. 104482, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104482>
9. Izzi, Matteo, et al. "Seismic Behaviour of Cross-Laminated Timber Structures: A State-of-The-Art Review." *Engineering Structures*, vol. 170, Sept. 2018, pp. 42–52, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.060>
10. Jayalath, Amitha, et al. "Life Cycle Performance of Cross Laminated Timber Mid-Rise Residential Buildings in Australia." *Energy and Buildings*, vol. 223, Sept. 2020, p. 110091, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110091>
11. Nicoleta Lipcaneanu / Georgios Amanatidis. Europos Parlamentas. Kova su klimato kaita [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/lt/sheet/72/kova-su-klimato-kaita>. [žiūrėta 2023-10-10]
12. Petkevičius, Arminas; Saddi, Jessica; Piras, Alessandro; Jukna, Tadas; Šibirkštis, Rolandas; Norvaišienė, Rosita. Use of timber products in construction: structural redesign of a residential building = Medienos gaminių panaudojimas statyboje: gyvenamojo namo konstrukcinis projektavimas // Mokslinės konferencijos „PRAMONĖS IR VERSLO SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI“ recenzuotų straipsnių rinkinys. Kaunas : Kauno technikos kolegija. ISSN 2783-6223. 2021, p. 8-16. Prieiga per: https://www.ktk.lt/uploads/0ac2273f-75d6-47f8-8719-cb7a3acf6062/Recenzuotu_straipsniu_rinkinys.pdf
13. H. Andersen, N.L. Rasmussen, M.W. Ryberg Comparative life cycle assessment of cross laminated timber building and concrete building with special focus on biogenic carbon *Energy Build.*, 254 (2022), Article 111604, [10.1016/j.enbuild.2021.111604](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111604)
14. S. Liang, H. Gu, R. Bergman, S.S. Kelley Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative *Wood Fiber Sci.*, 52 (2020), pp. 217-229, 10.22382/wfs-2020-019

ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF THE EXTERNAL WALLS OF THE INDUSTRIAL BUILDING

Summary

By designing a building, it is important to consider not only its appearance and cost, but also its sustainability and environmental performance. Ecology in construction is one of the objectives to be pursued, and materials that have been widely used in construction, such as reinforced concrete and masonry structures, are being replaced by organic materials that are less polluting and that are recyclable or reusable.

The single-storey industrial building was designed using environmentally friendly building materials (cross-laminated panels CLT insulated with wood fibre thermal insulation) and conventional sandwich panels with EPS, MW and PP fillers. The Life Cycle Assessment (LCA) software "One Click LCA" was used to compare the sustainability of the buildings. The results showed that designing the building walls with CLT panels with wood fibre thermal insulation reduces the GWP by a factor of 5 compared to the materials used.

PREKYBOS PASKIRTIES PASTATO IŠORINIŲ ATITVARŲ VARIANTŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

Modestas Kanauka, Violeta Medelienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Statant pramoninius, prekybos ar sandėliavimo paskirties pastatus išorinės sienos yra vienos iš svarbiausių pastato elementų. Jos turi atlikti ne tik svarbias atitvarines funkcijas, bet ir užtikrinti estetišką pastato išvaizdą. Gamintojai, pastoviai atnaujinami asortimentą, tokio tipo pastatų išorinėms sienoms siūlo ne tik skirtingų užpildų daugiasluoksnes plokštes, bet ir plokštes iš kitokių medžiagų. Todėl, projektuojant pastatus, vis sunkiau išrinkti tinkamiausią išorinės atitvaros variantą.

Tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti alternatyvius prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų variantus ir atlikti jų daugiakriterinį vertinimą. Straipsnyje pateikiama išorinių atitvarinių konstrukcijų analizė, nustatomi aktualūs vertinimo rodikliai ir atliekamas daugiakriterinis alternatyvių variantų vertinimas. Vertinimo rezultatai leido nustatyti racionalų prekybos paskirties pastato išorinės atitvaros variantą, kuris vėliau naudojamas pastato projekte.

Reikšminiai žodžiai: prekybos paskirties pastatas, išorinės atitvaros, vertinimo rodiklių sistema, teorinis ir subjektyvus rodiklių reikšmingumai, naudingumo vertės metodas, racionalus sprendinys

Ivadas

Klimato kaita ir riboti energijos ištekliai Lietuvoje skatina efektyvesnę energijos panaudojimą visuose naujai statomuose ir renovuojamuose pastatuose. Tokios laikančiosios konstrukcijos kaip išorinės sienos visų pirma skirtos pastato patvarumui ir stabilumui užtikrinti. Todėl joms naudojamos tankios ir didelio stiprio medžiagos. Be to, jos turi užtikrinti patogiam darbui, poilsiui ir kitoms veikloms tinkamą vidaus mikroklimatą. Šiluminis komfortas – patalpos mikroklimatas, kuris mažiausiai veikia organizmo termoreguliacinę sistemą ir ilgą laiką arba sistemingai veikdamas žmogaus organizmą nesukelia nemalonių žmogui pojūčių bei sveikatos sutrikimų (LR Sveikatos apsaugos ministerija, HN 69:2003, 2003).

Šiais laikais sunku įsivaizduoti pramoninės, prekybos, žemės ūkio, sandėliavimo paskirties pastatų statybą be daugiasluoksnių plokščių panaudojimo išorinių sienų konstrukcijose. Daugiasluoksnės plokštės tapo lyderėmis rinkoje, iš kitų variantų išsiskirdamos mažu svoriu, puikiais termoizoliacinėmis bei atsparumo ugniai, drėgmei savybėmis, aukšta kokybe, dideliu spalvinės gamos bei dangos pasirinkimu (Gritėnas, 2018; p.18).

Tobulindami daugiasluoksnių plokščių šiluminės savybes, gamintojai naudoja įvairius užpildus, taip padidindami šių plokščių taikymo galimybes vis įvairesnės paskirties pastatuose. Šiuo metu rinkoje kaip alternatyvos šioms plokštėms, naudojamos ir įvairios daugiasluoksnės gelžbetoninės bei lengvo betono plokštės. Projektuotojams išorinių sieninių plokščių pasirinkimas tampa vis sudėtingesniu uždaviniu- kurią plokštę rinktis?

Tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti alternatyvius prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų variantus ir atlikus jų daugiakriterinį vertinimą, nustatyti racionalų sprendinį.

Tyrimo objektas- prekybos paskirties pastato išorinės atitvaros.

Tikslui realizuoti numatyti tokie uždaviniai: 1- išanalizuoti prekybos paskirties pastatų išorinių atitvarų variantus; 2- sudaryti aktualią vertinimo rodiklių sistemą ir apskaičiuoti jų reikšmingumą; 3- atlikti išorinių atitvarų daugiakriterinį vertinimą ir nustatyti racionalų variantą.

Tyrimo metodai: informacijos šaltinių analizės metodas, naudojamas alternatyvių išorinių sienų variantų nustatymui ir vertinimo rodiklių sistemos sudarymui; teorinis entropijos metodas naudojamas vertinimo rodiklių teoriniam reikšmingumui apskaičiuoti; ekspertinis respondentų apklausos ir porinio palyginimo metodai naudojami vertinimo rodiklių prioritetų eilutės sudarymui ir subjektyvaus reikšmingumo skaičiavimui; daugiakriterinis naudingumo vertės metodas naudojamas alternatyvių išorinių sienų variantų vertinimui ir racionalaus sprendinio nustatymui.

Prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų variantų analizė

Prekybos paskirties pastatas projektuojamas su mišriu karkasu: gelžbetoninėmis kolonomis ir metalinėmis santvaromis. Sienines plokštes laikanti konstrukcija yra gelžbetoninės kolonos, tad visi alternatyvūs išorinių sieninių plokščių variantai yra tvirtinami prie jų. Tyrime analizuojami keturi galimi pastato išorinių atitvarų variantai: 1- Ruukki daugiasluoksnė sieninė plokštė „SPA EE“ su mineralinės vatos užpildu (storis - 300mm); 2- Xella įmonės Ytong armuota akytojo betono sieninė plokštė (storis - 240mm); 3- daugiasluoksnė sieninė plokštė PIR standart su poliuretano užpildu (storis – 100mm); 4- sieninė plokštė su EPS (polistireninio putplasčio) užpildu IzoWall EPS (250mm).

Daugiasluoksnė sieninė plokštė SPA EE su mineralinės vatos užpildu (A1) , kuri gaminama įmonėje Ruukki (žiūr. 1 pav.) Analizei pasirinkta 300mm storio, 6000 mm ilgio ir 1200 mm pločio plokštė.



1 pav. „SPA EE“ sieninė plokštė

Šaltinis: Daugiasluoksnė plokštė SPA EE (Ruukki). [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.ruukki.com/ltu/pastat%C5%B3-atitvaros-ir-fasadai/produktai/wall-structures/sandwich-panels-for-external-walls/sandwich-panel-detail/sandwich-panel-spa-ee-for-external-walls#savyb%C4%97s>

Plokštės šerdis pagamintas iš nedegios, aplinkai nekenksmingos kietos mineralinės vatos. Mineralinė vata pasižymi dideliu atsparumu ugniai, bei gera garso izoliacija. Didelis plokštės storis, bei atitinkamai paruoštas užpildas užtikrina gerą šilumos perdavimo koeficientą. Šios plokštės šilumos perdavimo koeficientas yra 0,12 (W/m²K), degumo klasė A2, bei garso izoliacija- 26 Rw (dB). Visos gamintojo pateiktos savybės deklaruojamos pagal EN 14509 ir susijusius standartus (Daugiasluoksnė plokštė SPA EE, 2023).

Ytong armuota sieninė plokštė (A2)- tai įmonės Xella gaminamas gaminy iš akytojo betono. Didelių matmenų armuotos Ytong plokštės (žiūr. 2 pav.) yra skirtos pramoninių, komercinių objektų, biurų ir viešosios paskirties pastatų statybai. Svarbiausi šių armuotų plokščių privalumai – aukšta šilumos ir garso izoliacija, apsauga nuo perkaitimo, puikus atsparumas ugniai ir trumpas montavimo laikas (Dujų silikato blokėliai [YTONG], 2023). Parinktas gaminy 6000 mm ilgio, 250 mm storio ir 750 mm pločio.



2 pav. Ytong akyto betono sieninė plokštė

Šaltinis: Ytong sienų plokštės- net 360 minučių atsparumo ugniai (Xella). [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.xella.lt/lt_LT/Ytong-sien%C5%B3-plokstes

Daugiasluoksnė sieninė plokštė PIR standart (A3)- tai daugiasluoksnė sieninė plokštė su poliuretano putų užpildu (žiūr. 3 pav.). Plokštės su šiuo užpildu yra dažnai naudojamos gamybos, sandėliavimo, prekybos paskirties pastatuose.



3 pav. PIR standart sieninė plokštė

Šaltinis: Daugiasluoksnės sieninės plokštės PIR Standard. BalexMetal. [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://balex.eu/lt/produktai/sluoksnines-plokstes/daugiasluoksnines-sienines-plokstes-pir-standard-poliuretan-as-standartinis-tvirtinimas>

Poliuretano putų užpildas puikiai išsaugo pastatų šilumą. Tai užtikrina labai geras šilumos laidumo koeficientas $\lambda = 0,022$, kuris nėra pasiekiamas plokštėms su polistireninio putplasčio arba mineralinės vatos užpildu. Taip pat, plokštės su šiuo užpildu pasižymi ir kitomis geromis savybėmis: nepūva, nepelija, negaruoja, nesideformuoja ir nekeičia savo savybių. Ši medžiaga atspari kenkėjams. (Daugiasluoksnės sieninės plokštės PIR Standard, 2023) Poliuretaną apsaugo metalinių konstrukcijų paviršių nuo korozijos. Teisingai eksploatuojant pastatuose putų poliuretaną, jis savo termoizoliacinių savybių nepraranda apie 25 – 30 metų (Apie termoizoliacines medžiagas, 2023).

Daugiasluoksnė sieninė plokštė IzoWall EPS (A4) yra su polistireninio putplasčio (EPS) užpildu (žiūr. 4 pav.).



4 pav. IzoWall EPS sieninė plokštė

Šaltinis: IzoWall EPS (Izo Panel). [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.izopanel.pl/lt/produkty/izowall-eps/>

Polistireninis putplastis EPS – tai termoizoliacinė medžiaga, kuri sudaryta iš stirolo ir pentano. Polistireninis putplastis šiandien plačiausiai naudojamas kaip ekonomiškai efektyvi termoizoliacija pastatų šiltinimui. Polistireninį putplastį sudaro 98 % oro ir 2 % polistireno. Pagrindinės polistireno sudėtinės medžiagos – stirolas ir pentanas – yra angliavandeniliai, gaunami iš naftos (Apie termoizoliacines medžiagas, 2023). Šios plokštės yra lengvos, greitai montuojamos, bei pasižymi geromis techninėmis savybėmis.

Prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų vertinimo rodikliai ir jų reikšmių bei reikšmingumo skaičiavimas

Vykdam veiklą realiomis verslo sąlygomis yra sudėtinga priimti sprendimus dėl strateginių procesų tinkamumo, nes dažnai pagal vienus rodiklius pasirinkta veiklos strategija gali būti įvertinta kaip efektyvi ir naudinga, o pagal kitus – sukurianti kliūtis projekto realizavimui. Objektiviūs sprendimus dėl projekto tinkamumo ir efektyvumo galima gauti taikant ne vieną rodiklį, o jų rinkinį, t. y. rodiklių sistemas, tenkinančias vykdytojų, vartotojų bei kontroliuojančių subjektų bei kitų suinteresuotų grupių poreikius (Lazauskas, 2015; 1-3).

Atsižvelgiant į tai, tyrime daugiasluoksnių išorinių sienų variantų vertinimui sudaryta tokia vertinimo rodiklių sistema: medžiagų kaina, K1, (Eur/m²), šilumos laidumo koeficientas, K2, (W/m²K), atsparumas ugniai, K3, (balai, nustatyti pagal atsparumo ugniai klasę), garso izoliacija K4, (R_w dB), ekologiškumas, K5, (balai), tvarumas K6 (balai). Jų reikšmės nustatytos remiantis gamintojų rekomendacija, techniniais duomenimis, gaminių aprašais (žiūr. 1 lentelę).

1 lentelė

Vertinimo rodiklių skaitinės reikšmės

Kriterijai Atitvarų variantai	Kaina, (EUR/m ²) K1	U vertė, (W/m ² K) K2	Atsparumas ugniui, balais K3	Garso izoliacija R _w (dB) K4	Ekologiškumas K5	Tvarumas, balais K6
Daugiasluoksnė su mineralinės vatos užpildu (A1)	82,28	0,12	3	26	3	3
Ytong aktyto betono armuota sienos plokštė (A2)	87,16	0,51	4	43	4	4
Daugiasluoksnė su poliuretano užpildu (A3)	43,62	0,22	2	24	2	2
Daugiasluoksnė su polistireninio putplasčio užpildu (A4)	53,09	0,16	1	33	1	1

Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimo rodiklių reikšmingumo nustatymui naudoti teorinis entropijos ir ekspertinis porinio palyginimo metodai. Nustatant reikšmingumą teoriniu entropijos metodu, kriterijai pertvarkomi taip, kad

didžiausia kiekvieno kriterijaus reikšmė būtų geriausia (Zavadskas ir kt., 2021; p.139-141). Nustatant subjektyvų reikšmingumą, taikytas ekspertinis porinio palyginimo metodas. Skaičiavimams būtini duomenys gaunami atliekant porinį dviejų rodiklių palyginimą ir palyginimo esmė – nustatyti, kiek vienas rodiklis, eksperto arba specialisto manymu, yra svarbesnis už lyginamą kitą rodiklį. Porinis lyginimas taikomas panaudojant skaičiuotinas matematines formules rodiklių reikšmingumams ir kiekvieno rodiklio santykiniams alternatyvų įverčiams gauti (Lazauskas, 2015; p.46). Taikant šį metodą, tarpusavio nuomonių suderinamumui užtikrinti būtina pasirinkti specialistus, turinčius pakankamą kvalifikaciją ir patirtį nagrinėjamoje srityje (Lazauskas, 2015; p.46).

Abiem metodais nustatyti vertinimo rodiklių reikšmingumai pateikti 2-oje lentelėje.

2 lentelė

Vertinimo rodiklių teorinis ir subjektyvus reikšmingumas

Vertinimo rodiklių reikšmingumas	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Teorinis	7,28	29,81	19,31	4,99	19,31	19,31
Subjektyvus	26,67	33,33	6,67	0,00	13,33	20,00

Šaltinis: sudaryta autorių

Prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų vertinimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą

Sprendžiant statybos inžinerinių sprendinių efektyvumo uždavinius, plačiai taikomi daugiakriteriniai vertinimo metodai (Zavadskas ir kt., 1996; 2001; Medelienė, 2011; Lazauskas, 2015; Gritėnas, 2018). Vienas iš daugelio daugiakriterinių sprendinių vertinimui naudojamų metodų yra naudingumo vertės metodas. Naudojant šį metodą, atrenkamas tas projektinis sprendinys, kurio naudingumo vertė yra didžiausia (Zavadskas ir kt., 2001; p.232-235; Medelienė, 2011; p. 121-123). Taikant šį metodą, vertinimas atliekamas tokiais etapais: 1- sudaroma pradinė duomenų matrica (žiūr. 3 lentelę); 2- nustatomas kiekvieno kriterijaus optimalumas ir randama geriausia reikšmė (žiūr. 3 lentelę); 3- atliekamas matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą (žiūr. 4 lentelę); 4- pasirinkus vertinimo skalę, apskaičiuojamas kriterijų naudingumas balais ir sudaroma kriterijų naudingumo matrica; 5- sudaromos svertinės matricos ir surandami racionalūs išorinių atitvarų sprendiniai (žiūr. 5 lentelę)

Grafinis išorinių pastato atitvarų sprendinių vertinimo rezultatų vaizdas pateiktas 5 pav.

3 lentelė

Pradinė duomenų matrica P, kriterijų optimalumas ir geriausios reikšmės

Variantai Kriterijai	Matrica P				Kriterijų optimalumas	Geriausia reikšmė
	A1	A2	A3	A4		
K ₁	29,30	49,92	31,14	40,33	min	2,78
K ₂	0,035	0,036	0,035	0,022	min	0,022
K ₃	0,32	0,33	0,32	0,20	min	0,20
K ₄	4,125	3,833	3,7	3,275	min	3,275
K ₅	15	25	30	50	max	55
K ₆	2	1	3	3	max	3

Šaltinis: sudaryta autorių

4 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės

Variantai Kriterijai	Matrica $\bar{P}$			
K ₁	0,530	0,499	1,000	0,822
K ₂	1,000	0,235	0,545	0,75
K ₃	0,750	1,000	0,500	0,250
K ₄	0,605	1,000	0,558	0,767
K ₅	0,750	1,000	0,500	0,250
K ₆	0,750	1,000	0,500	0,250

Šaltinis: sudaryta autorių

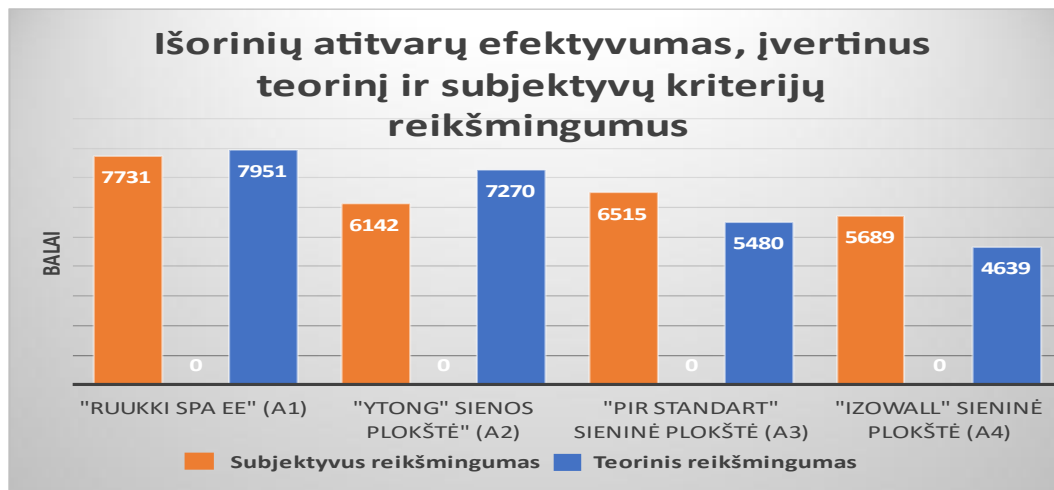
5 lentelė

Svertinės matricos ir variantų naudingumas

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}_t$				$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
7	371	350	700	574	27	1431	1350	2700	2214

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}_t$				$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} \cdot \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
30	3000	720	1650	2250	33	3300	792	1815	2475
19	1425	1900	950	475	7	525	700	350	175
5	305	500	280	390	0	0	0	0	0
19	1425	1900	950	475	13	975	1300	650	325
19	1425	1900	950	475	20	1500	2000	1000	500
Σ	7951	7270	5480	4639	Σ	7731	6142	6515	5689

Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Prekybos paskirties pastato išorinių atitvarų variantų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus daugiakriterinį pastato išorinių atitvarų variantų vertinimą nustatyta, kad kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus – šilumos perdavimo koeficientas, racionaliausias atitvaros variantas – Ruukki gamintojų SPA EE plokštė su mineralinės vatos užpildu. Tačiau, šiuo atveju, Xella gaminamų Ytong armuotų sieninių plokščių naudingumas yra labai panašus.

2. Įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai – kaina ir šilumos perdavimo koeficientas, racionaliausias variantas – taip pat Ruukki gamybos SPA EE plokštė su mineralinės vatos užpildu.

3. Remiantis tyrimo metu gautais daugiakriterinio vertinimo rezultatais galima teigti, kad šiuo atveju racionaliausias variantas – Ruukki gamybos SPA EE išorinė sieninė plokštė su mineralinės vatos užpildu, kuri ir rekomenduojama kaip išorinė atitvara projektuojamam prekybos paskirties pastatui.

Literatūra

1. Apie termoizoliacines medžiagas. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 10 10]. Prieiga per internetą: [apie termoizoliacines medžiagas.pdf](#)
2. Daugiasluoksnė plokštė SPA EE (Ruukki). [Interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 26]. Prieiga per internetą: <https://www.ruukki.com/ltu/pastat%C5%B3-atitvaros-ir-fasadai/produnktai/wall-structures/sandwich-panels-for-external-walls/sandwich-panel-detail/sandwich-panel-spa-ee-for-external-walls#savyb%C4%97s>
3. Daugiasluoksnės PIR plokštės. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 26]. Prieiga per internetą: <https://pir.lt/shop/un-pir-lt-daugiasluoksnės-pir-plokštės-28#attr=1933,1938,1940,5643,1919,1927,1943,1931,1946,5217>
4. Daugiasluoksnės sieninės plokštės PIR Standard. BalexMetal. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 10 01]. Prieiga per internetą: <https://balex.eu/lt/produnktai/sluoksnines-plokstes/daugiasluoksnės-sieninės-plokštės-pir-standard-poliuretanās-standartinis-tvirtinimas>
5. Dujų silikato blokeliai (YTONG). [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 10 06]. Prieiga per internetą: <https://www.blokeliucentras.lt/prekiu-asortimentas/statybiniiai-blokeliai/duju-silikato-akyto-betono-blokeliai-2/>

6. Gritėnas G. Mažaenergetinio pramoninio pastato išorės atitvarų iš daugiasluoksnių plokščių daugiakriterinis vertinimas (Magistro projektas).- Kauno technologijos universitetas, 2018, 42 p.
7. Ytong sienų plokštės- net 360 minučių atsparumo ugniai (Xella). [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 11 14]. Prieiga per internetą: https://www.xella.lt/lt_LT/Ytong-sien%C5%B3-plokstes
8. IzoWall EPS (Izo Panel). [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 10 11]. Prieiga per internetą: <https://www.izopanel.pl/lt/produkt/izowall-eps/>
9. Kurie parametrai yra svarbiausi renkantis daugiasluoksnes plokštes? Europanelis. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 18]. Prieiga per internetą: <https://www.europanelis.pl/lt/technine-patarimai/kurie-parametrai-yra-svarbus-renkantis-daugiasluoksnes-plokstes/>
10. Lazauskas M. Statybos projektų darnos vertinimo kompleksinis modelis (Daktaro disertacija).- Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 10 15]. Prieiga per internetą: http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1832/1/2320_Lazauskas_Disertacija_WEB.pdf
11. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. HN 69:2003 Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai. N. d. [žiūrėta 2021-10-10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
12. Medelienė V. Pramoninių betoninių grindų dangų gyvavimo proceso kompleksinė analizė ir jų efektyvus sprendimas (Daktaro disertacija).- Kauno technologijos universitetas, 2011, 151 p.
13. Poliuretanas (Tomix). [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2023 10 10]. Prieiga per internetą: <https://tomix.lt/straipsniai/poliuretanas.html>
14. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A. Pastatų sistemos techninis įvertinimas. Vilnius, Technika. V.: Technika. 1996. 280 p
15. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
16. Zavadskas E.,K., Simanaukas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF EXTERNAL FACADE OPTIONS FOR A COMMERCIAL BUILDING

Summary

When constructing industrial, commercial or warehouse buildings, external walls are one of the most important elements of the building. They must not only fulfil important containment functions, but also ensure the aesthetic appearance of the building. Manufacturers, constantly updating their product range, offer not only sandwich panels with different fillings, but also panels made of different materials for the external walls of this type of building. This makes it increasingly difficult to choose the most appropriate external facade option when designing buildings.

The aim of the study is to analyse alternative external enclosure options for a commercial building and perform their multi-criteria evaluation. The article presents an analysis of external enclosure structures, identifies relevant evaluation indicators, and conducts a multi-criteria assessment of alternative options. The evaluation results allowed determining a rational external enclosure option for the commercial building, which was later utilized in the building project.

Key words: commercial building, external envelope, evaluation indicator system, theoretical and subjective significance of indicators, utility value method, rational solution.

DAUGIABUČIO GYVENAMOJO NAMO IŠORINIŲ SIENŲ KONSTRUKCIJŲ DAUGIAKRITERINĖ ANALIZĖ

Tomas Rakauskas, Jūratė Mockienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Išorinės pastato sienos yra viena iš svarbiausių konstrukcijų. Jos suteikia pastatui formą, struktūrą, atlieka atitvarų funkciją, nuo jų priklauso pastato stabilumas, ilgaamžiškumas, estetinė išvaizda ir kt. Sienų konstrukcijos parinkimas reikšmingai veikia objekto statybos kainą, būsimos vidaus ir išorės apdailos parinkimą, įrengimo sudėtingumą ir jam reikalingų mašinų pasirinkimą, statybos trukmę ir t.t. Parenkant sienas privaloma atsižvelgti į įrengimo kainą, ekonomiškumą, ekologiškumą, ilgaamžiškumą, estetiką. Projektuojamas daugiabutis gyvenamasis namas turi būti patrauklus būsimiems pirkėjams, atitinkantis jų lūkesčius, jame suprojektuotus butus turi būti galima parduoti už konkurencingą rinkos kainą, o pirkėjas turi norėti tą kainą už juos mokėti. Siekiant nustatyti racionalų daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų konstrukcijos variantą, straipsnyje analizuojami keturi alternatyvūs išorinių sienų sprendimai. Jų įvertinimui naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas. Įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. surenkamųjų trisluoksnių gelžbetonio plokščių su gamykloje suformuota fasadinio sluoksniu klinkerio plytelių apdaila konstrukcija; daugiasluoksnės betoninių blokelių mūro sienos su tinkuojamuoju fasadu; daugiasluoksnės sienos iš pilnavidurių M200 markės silikatinių plytų mūro; daugiaaukštis pastatas iš inovatyvių medinių konstrukcijų.

Įvadas

Daugiabučiai gyvenamieji namai šiandien vis dar išlieka populiarius pasirinkimas didesniuose Lietuvos miestuose. Šiandieniniai butų pirkėjai ieško ekonomiškų, patogiai išplanuotų, modernių ir kuo mažesnių eksploatacinių sąnaudų reikalaujančių butų, o jų projektuotojai ir vystytojai ieško kuo optimesnių ir ekonomiškesnių projektinių sprendimų, kurie leistų maksimaliai sumažinant ir eliminuojant perteklines bei nereikalingas projekto įgyvendinimo sąnaudas statyti optimalius kokybės, kainos, ilgaamžiškumo, įgyvendinimo trukmės bei darbų atlikimo sudėtingumo kategorijos statybos projektus.

Viena iš pagrindinių ir svarbiausių daugiabučio gyvenamojo namo konstrukcijų yra išorinės laikančiosios sienos. Šios konstrukcijos suteikia pastatui formą, atlieka atitvarų funkciją, į jas montuojami langai ir durys, nuo jų priklauso pastato statybos darbų sąnaudos, ekonominiai rodikliai, estetinės ir techninės savybės, statybos būdas, pastato stabilumas ir apkrovų išlaikymas.

Siekiant nustatyti geriausią išorinės sienos konstrukcijos sprendimą, analizuojami keturi galimi sienų variantai. Jų analizei atlikti taikomas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas. Įvertinamas subjektyvus kriterijų svarbumas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus.

Tyrimo problema - kaip parinkti daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų konstrukcijos variantą.

Tyrimo objektas – daugiabutis gyvenamasis namas.

Tyrimo metodai: Daugiabučio gyvenamojo namo išorinės sienos konstrukcijos racionaliam sprendimui nustatyti naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus įvertinamas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai.

Daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų sprendimų analizė

Analizuojami keturi daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų variantai: 1 – surenkamųjų trisluoksnių gelžbetonio plokščių su gamykloje suformuota fasadinio sl. klinkerio plytelių apdaila konstrukcija (gamintojas „INHUS Prefab“); 2 – daugiasluoksnės betoninių blokelių „Haus S6 500x200x200“ mūro sienos su tinkuojamuoju fasadu (blokelių gamintojas „Haus“); 3 – daugiasluoksnės sienos iš pilnavidurių M200 markės silikatinių plytų mūro; 4 – daugiaaukštis pastatas iš inovatyvių medinių konstrukcijų.

Surenkamųjų trisluoksnių gelžbetonio plokščių su gamykloje suformuota fasadinio sl. klinkerio plytelių apdaila konstrukcija (gamintojas „INHUS Prefab“ (A1). Trisluoksnės gelžbetoninės sieninės plokštės su klinkerio plytelių apdaila, kuri suformuojama gamykloje, yra puikus pasirinkimas surenkamojo gelžbetonio pastatams (1 lentelė). Klinkerio plytelių apdaila suformuojama sudėliojant plytelių piešinį ant formuoti skirto paviršiaus ir suformuojant laikinas siūles. Užbaigus formuoti piešinį visa ši struktūra užpilama betonu. Nukėlus gaminį nuo formavimo padėklo, išimami laikinas siūles suformavę šablonai bei specialiu fūgavimo mišiniu suformuojamos baigtinės siūlės. Šis sprendimas leidžia gelžbetonines sienines plokštes iš gamyklos į objektus išvežti jau su suformuota apdaila, kuri esant tinkamoms eksploataavimo

sąlygoms yra ilgaamžė. Klinkerio plytelių piešinys gali būti pasirenkamas vienspalvis, tamsėjantis, sudarantis sendintų plytų išpūdį (pasirinkimas tinkamas, esant poreikiui pritaikyti naujo pastato fasado dizainą prie aplink esančių senų pastatų), arba kelių spalvų mozaika. Šios plokštės suformuojamos kartu su elektros kanalais, ventiliacijos angomis ir kitomis reikalingomis detalėmis (www.inhus.lt).

1 lentelė

Techninė informacija apie variantą A1

Gamyba	Montavimas	Konstrukcija
Suformuojama gamykloje	Plokštėms tarpusavyje sujungti ir papildomoms konstrukcijoms bei elementams tvirtinti naudojamos inovatyvios ir sertifikuotos, įmonės „Peikko“ gaminamos metalinės jungtys.	 MU3a“ administracinių pastatų statyba Lidso mieste, Jungtinėje Karalystėje, panaudojant Lietuvos įmonės „INHUS Prefab“ suprojektuotas ir pagamintas gb. sienines pl. su klinkerio apdaila. (www.inhus.lt).

Šaltinis: www.inhus.lt

Daugiasluoksnės betoninių blokelių „Haus S6 500x200x200“ mūro sienos su tinkuojamuoju fasadu, blokelių gamintojas „Haus“ (A2). Blokeliai „Haus“ pagal šaltą betono liejimo ir natūralaus džiovavimo technologiją gaminami Lietuvoje (2 lentelė). Jų sudėtyje nėra žmogaus sveikatai žalingų medžiagų, kadangi gamybai naudojamos tik natūralios gamtinės medžiagos. Sumūrytas blokelių mūrinys lieka tuščiaviduris, blokelių oro ertmės neleidžia cirkuluoti orui, taip pagerinama sienos šilumos izoliacija (www.blokeliucentras.lt).

2 lentelė

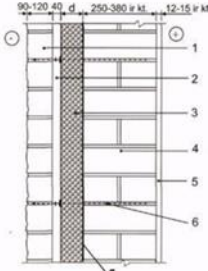
Techninė informacija apie variantą A2

Gamyba	Montavimas	Konstrukcija
Suformuojama statybos aikštelėje.	Šiems blokeliams mūryti naudojamas standartinis cemento ir smėlio skiedinys, jis tepamas ant blokelių kraštų taip, kad būtų suformuoti oro tarpai, kurie neleidžia horizontaliose siūlėse susidaryti šilumos nutekėjimo tiltams.	 Betoniniai „Haus“ blokeliai (www.blokeliucentras.lt) Betoninių „Haus“ blokelių mūrinys (www.eksptai.lt)

Šaltinis: www.blokeliucentras.lt

Daugiasluoksnės sienos iš pilnavidurių M200 markės silikatinių plytų mūro (A3). Silikatinės plytos gaminamos iš natūralių žaliavų: smėlis 90 %; kalkės 7%; vanduo 3%. Silikatinės plytos leidžia pastate vykti natūraliai oro cirkuliacijai, ant jų nesikaupia drėgmė, nesusidaro pelėsiai. Jos pasižymi dideliu atsparumu gniuždymui, sudaro gerą garso izoliaciją, yra ekologiškos. Neigiamos savybės – didelis higroskopiskumas ir didelė masė. Atsiradus modernesniems sienų statybos būdams, plytų mūras šiandien pasirenkamas retai (3 lentelė). Kadangi šios plytos yra higroskopiškos, į mūro skiedinį turi būti įmaišomas plastifikatorius. Vietoje plastifikatoriaus dar galima naudoti gesintas kalkes. (<https://vma.ktk.lt/course/view.php?id=850>).

Techninė informacija apie variantą A3

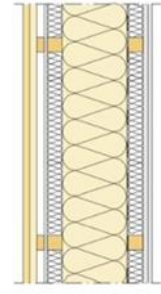
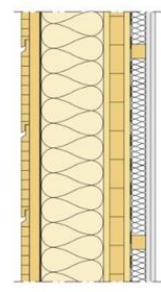
Gamyba	Montavimas	Konstrukcija
Suformuojama statybos aikštelėje.	Pradedant mūryti sienas reikia pasirūpinti, kad pagrindas būtų švarus ir lygus. Ant jo klojamas hidroizoliacinis sluoksnis. Mūrijant svarbu, kad eilės susiristų. Lauko sienų siūlės būtinai reikia sutankinti, kad jos nepraleistų atmosferinio vandens. Jei fasado mūras nebus tinkuojamas, tarp apdailos mūro ir šilumos izoliacijos turi būti vėdinamas oro tarpas, nes kitaip pro siūlės patekęs lietaus vanduo susilaikys plytose. Norint padidinti lauko sienų ilgaamžiškumą, reikia tinkamai įrengti lietaus nuvedimo nuo stogo sistemą.	 Silikatinių plytų mūro sienos konstrukcija: 1- Fasadas iš apdailinių plytų; 2-Vėdinamas oro tarpas; 3-Šilumos izoliacija; 4-Vidinis laikantysis mūrinys; 5-Vidaus apdaila; 6-Lankstūs ryšiai; 7-Garo izoliacija; Standartinės silikatinės plytos matmenys – 250×120×88, fasado apdailai gali būti naudojamos dekoratyvinės 250×88×71 plytos.

Šaltinis: <https://vma.ktk.lt/course/view.php?id=850>

Daugiaaukštis pastatas iš inovatyvių medinių konstrukcijų (A4). Mediena statybų sektoriuje naudojama jau daugybę metų, tačiau medinė statyba XX a. sunyko. Per pastaruosius metus medinės konstrukcijos vėl ėmė sparčiai populiarėti. Medžio atgimimą lemia keletas priežasčių: auganti tvarumo svarba visuomenėje – medis yra aplinkai palankesnė statybinė medžiaga, trumpesnis statybų laikas naudojant surenkamuosius elementus, statinių lengvumas. Esminės medinių daugiaaukščių populiarumo priežastys yra medžio elementų ekologiškumas ir statybų greitis. Prie viso to prisideda pažangūs technologiniai medienos apdirbimo būdai ir kaina. Medinių pastatų gaminti vis dar kainuoja brangiau, tačiau sutaupyti padeda galimybė medinius elementus ar modulius iš anksto surinkti gamykloje (4 lentelė). Trumpesnis statybų laikas mažina išlaidas ir riziką dėl neišbaigto projekto.

Daugiaaukščių pastatų statyboms naudojami trys pagrindiniai inžinerinių medienos konstrukcijų tipai: klijuotoji mediena, kryžmai sluoksniuota mediena ir laminuota fanera, taip pat kompozitinės medžiagos, ypač medžio ir betono kompozito plokštės. Visų jų tarpusavio derinys yra tai, kas padaro medžio karkasą galima alternatyva plienui ir cementui. (www.sa.lt)

Techninė informacija apie variantą A4

Gamyba	Montavimas	Konstrukcija
Surenkami elementai ar moduliai yra gaminami gamykloje	Medinių konstrukcijų dviejų tipų jungtys: metalinės ir tradicinės medžio jungtys. Plieninių plokščių ir kampinių naudojimas jungtyse padeda sulaikyti matmenų keitimosi judesius, dėl kurių medžio elementai ima trūkinėti. Medžio jungtys konstruojamos su specialiai išfrezuotomis iškyšomis, kad medžio elementai jungtųsi tarpusavyje išvengiant metalinių jungių. (sa.lt)	 Išorinė siena su lengvo karkaso konstrukcija 22+22 medžio apdaila 22 vėdinimo tarpas tarp horizontalių grebėstų apsauga nuo vėjo 45 šilumos izoliacija tarp horizontalių smeigių s600 195 šilumos izoliacija tarp vertikalų smeigių s600 garų barjeras 45 šilumos izoliacija tarp horizontalių smeigių s600 15+13 du gipso kartono sluoksniai (sa.lt)  Išorinė siena su medžio masyvo karkasu 25 medžio apdaila 34 vėdinimo tarpas tarp vertikalų grebėstų apsauga nuo vėjo 195 šilumos izoliacija tarp vertikalų smeigių s600 83 X-Lam skydelis Garų barjeras 45 šilumos izoliacija tarp horizontalių smeigių s600 15 gipso kartonas (vienas ar du) (sa.lt)

Šaltinis: www.sa.lt

Daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų sprendimų vertinimas

Statybinių konstrukcijų inžineriniams sprendimams vertinti pasirenkami vienakriteriniai ir daugiakriteriniai ekonominio efektyvumo nustatymo metodai. Naudojant vienakriterinius ekonominių sąmatinių skaičiavimų metodus, kurie leidžia pasirinktus sprendimus palyginti pagal atskirus kriterijus,

galima vertinti konstrukcinius sprendimus. Tačiau vadovaujantis vien jais sunku išsirinkti racionaliausią sprendimą. Kadangi visi statybos objektai ir jiems parenkami vienokie ar kitokie sprendimai turi daug skirtingų vertinimo aspektų, kadangi visi projektai ir jų situacijos yra unikalūs. Siekiant išrinkti tinkamiausią, visus reikalavimus atitinkantį sprendimą, naudojami daugiakriteriniai metodai, leidžiantys inžinerinius sprendimus įvertinti pasirinktos kriterijų sistemos ir jų reikšmingumo atžvilgiu (Zavadskas, 2001:380).

Nagrinėtiems išorinių daugiabučio gyvenamojo namo sienų konstrukcijų variantams įvertinti naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertinimo metodas, kriterijų reikšmingumas nustatomas teoriniu ir ekspertiniais metodais.

Vertinimo kriterijų sistemos parinkimas ir jų reikšmių skaičiavimas. Išorinės pastato sienos yra viena iš svarbiausių konstrukcijų. Jos suteikia pastatui formą, struktūrą, atlieka atitvarų funkciją, nuo jų priklauso pastato stabilumas, ilgaamžiškumas, estetinė išvaizda ir kt. Sienų konstrukcijos parinkimas reikšmingai veikia objekto statybos kainą, būsimos vidaus ir išorės apdailos parinkimą, įrengimo sudėtingumą ir jam reikalingų mašinų pasirinkimą, statybos trukmę ir t.t. Parenkant sienas privaloma atsižvelgti į įrengimo kainą, ekonomiškumą, ekologiškumą, ilgaamžiškumą, estetiką. Projektuojamas daugiabutis gyvenamasis namas turi būti patrauklus būsimiems pirkėjams, atitinkantis jų lūkesčius, jame suprojektuotus butus turi būti galima parduoti už konkurencingą rinkos kainą, o pirkėjas turi norėti tą kainą už juos mokėti.

Atsižvelgiant į šiuos aspektus, sudaryta tokia galimų išorinių sienų konstrukcijų vertinimo sistema:

Įrengimo sudėtingumas, K1 (vidutinė kategorija). Kriterijus, kuris leidžia bendrai palyginti skirtingų sienų konstrukcijų įrengimo sudėtingumą, įvertinant visus darbo procesus, reikalingus konstrukcijai suformuoti. Kategorijos skaitinė reikšmė nustatoma pagal gamybinių normatyvų ir sąmatų skaičiavimo sistemos „Sistela“ pateikiamus duomenis.

Įrengimo kaina, K2 (Eur/100m²). Kriterijus, leidžiantis įvertinti skirtingų konstrukcijų įrengimo kainą, pagal gamybinių normatyvų ir sąmatų skaičiavimo sistemos „Sistela“ pateikiamus duomenis.

Įrengimo darbo sąnaudos, (K3) (žm. val./100m²). Šis kriterijus parodo, kiek darbo laiko prireiktų vienam žmogui įrengti tam tikrą konstrukciją. Mato vnt. žm. val./100m² pagal gamybinių normatyvų ir sąmatų skaičiavimo sistemos „Sistela“ pateikiamus duomenis.

Mechanizmo darbo sąnaudos, K4 (maš. val./100m²). Kriterijus leidžia įvertinti ir palyginti, kiek laiko reikės dirbti mašinoms ir mechanizmams, įrengiant tam tikrą konstrukciją. Mato vnt. maš. val./100m², pagal gamybinių normatyvų ir sąmatų skaičiavimo sistemos „Sistela“ pateikiamus duomenis.

Estetinis vaizdas, K5 (balai). Kriterijus, leidžiantis palyginti analizuojamos konstrukcijos estetinį vaizdą su alternatyviais galimais variantais. Vertinamas balais [1;5]. Žemiausias balas (1) skiriamas prasčiausiai, o aukščiausias (5) gražiausiai atrodančiai konstrukcijai.

Šilumos laidumas, K6 (W/m²K). Kriterijus, parodantis lyginamos konstrukcijos šilumos laidumą W/m²K. Konstrukcijų šilumos laidumas nustatytas preliminariai sumodeliavus vertinamas sienų konstrukcijas „www.ubakus.de“ šilumos laidumo skaičiavimo sistemoje.

Tyrimo metu nustatytos kriterijų skaitinės reikšmės pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė

Vertinimo kriterijų skaitinės reikšmės

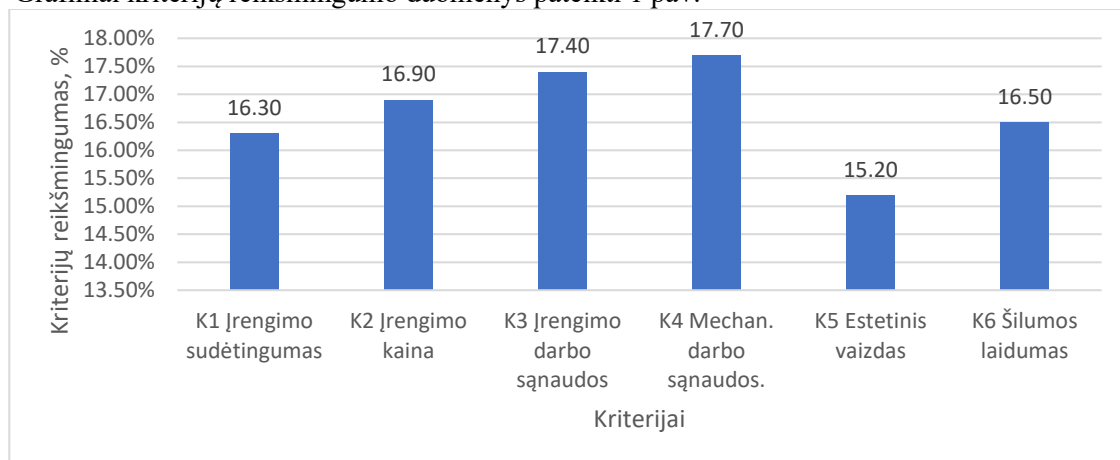
Kriterijai Variantai	(K1) Įrengimo sudėtingumas, vid. darbo sąn. kat.	(K2) Įrengimo kaina Eur/100 m ²	(K3) Įrengimo darbo sąnaudos žm. val./100 m ²	(K4) Mechanizmo darbo sąn. maš. val./100 m ²	(K5) Estetinis vaizdas balais 1– 5	(K6) Šilumos laidumas W/m ² K
(A1) Surenkamųjų trisluoksnių gb. plokščių su gamykloje suformuota fasadinio sl. klinkerio plytelių apdaila konstrukcija.	4	13 535	224	15	5	0,129
(A2) Daugiasluoksnės betoninių blokelių „Haus S6 500x200x200“ mūro sienos su tinkuojamuoju fasadu.	3,40	15 801	360	6,4	2	0,127
(A3) Daugiasluoksnės sienos iš pilnavidurių M200 markės silikatinių plytų mūro	3,40	20 878	500	33	3	0,126
(A4) Daugiaaukštis pastatas iš inovatyvių medinių konstrukcijų	3,40	14 499	380	68	4	0,123

Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas, taikant teorinį entropijos metodą. Šis metodas leidžia nustatyti vertinimo kriterijų reikšmingumą teoriškai, remiantis matematiniais skaičiavimais ir naudojant kriterijų reikšmingumo skaitines reikšmes (Zavadskas, 2001:380).

Kriterijų prioritetų eilutė: **K4 > K3 > K2 > K6 > K1 > K5.**

Grafiniai kriterijų reikšmingumo duomenys pateikti 1 pav.



1 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant teorinį entropijos metodą

Šaltinis: sudaryta autorių

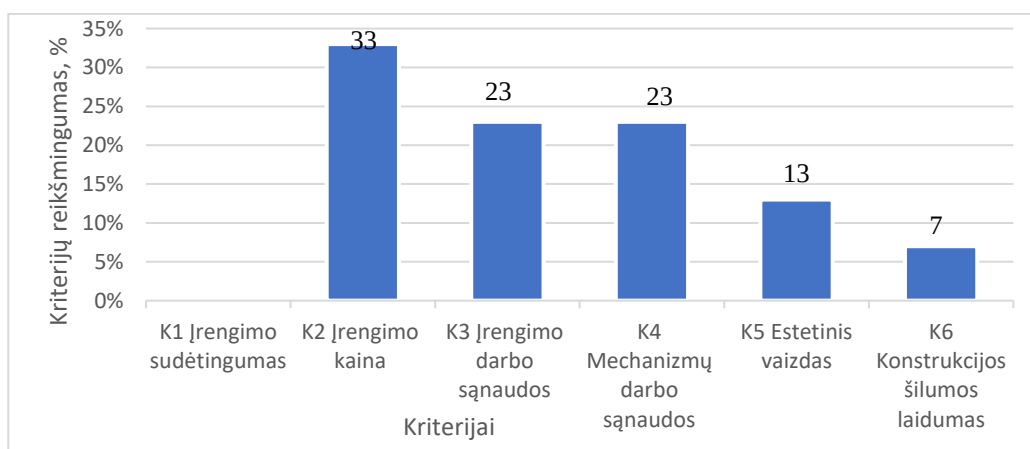
Nustačius kiekvieno entropijos kriterijaus lygį ir kriterijų kitimo lygį, iš prioritetų eilutės matoma, kad didžiausią reikšmingumą turi mechanizmų darbo sąnaudų kriterijus (K4) – 17.7%. Ne ką mažiau svarbus yra daugiaaukščių gyvenamųjų namų išorinės sienos konstrukcijos įrengimo darbo sąnaudos (K3) - 17.4%. Išorinės sienos konstrukcijos įrengimo kaina (K2) yra 16.9%, o šilumos laidumo koeficientas (K6) yra 16.5% bei išorinių sienų konstrukcijų įrengimo sudėtingumas (K1) – 16.3%. Teoriškai mažiausiai svarbus kriterijus – estetiškas vaizdas (K5) - 15,2 %.

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą .

Ekspertinis porinio palyginimo metodas leidžia nustatyti kriterijų reikšmingumą atsižvelgiant į subjektyvią suinteresuotų grupių nuomonę (Zavadskas, 2001:380). Subjektyvios nuomonės kriterijų prioritetų eilutei sudaryti naudotas organoleptinis metodas (eilutė sudaryta, remiantis užsakovo nuomone). Sudaryta tokia kriterijų prioritetų eilutė: **K2 > K3 = K4 > K5 > K6 > K1.** Pagal sudarytą eilutę kriterijai lyginami poromis, svarbesniam kriterijui skiriant 2 balus, atitinkamai mažiau svarbiam - 0 balų.

Grafiškai pavaizduoti rezultatai pateikti 2 paveiksle.

Skaičiavimo rezultatai parodė, kad didžiausią subjektyvų reikšmingumą turi įrengimo kaina (K2) – 33%, bei įrengimo darbų sąn. žm. val. (K3) ir mechanizmų darbo sąn. maž. val. (K4) – abu po 23%. Pakankamai svarbūs kriterijai – estetiškas vaizdas (K5) –13% ir šilumos laidumo koeficientas (K6) - 7%. Įrengimo sudėtingumas (K1) yra visai nesvarbus - 0%.



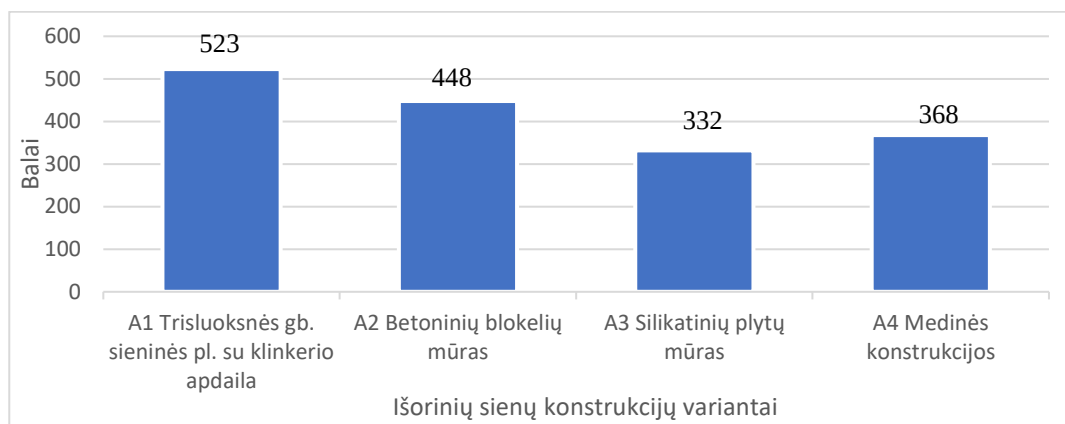
2 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą.

Šaltinis: sudaryta autorių

Racionalios išorinių daugiabučio gyvenamojo namo sienų konstrukcijos nustatymas taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Pagal skaičiavimo rezultatus sudaroma daugiabučio gyvenamojo namo sienų konstrukcijų prioritetų eilutė, rezultatai pateikiami grafike 3 pav.

$A1 > A2 > A4 > A3$;



3 pav. Sienų konstrukcijų sprendimų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas
Šaltinis: sudaryta autorių

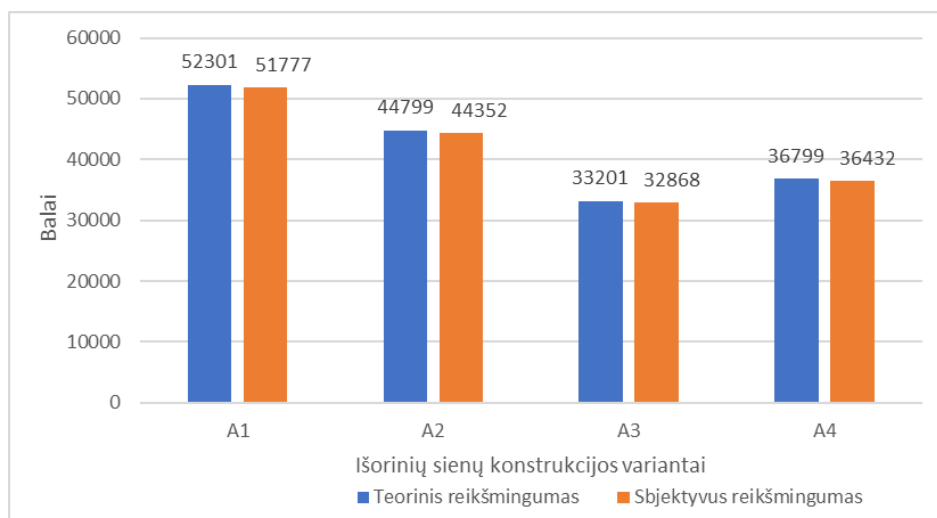
Sudaromos išorinių sienų konstrukcijų prioritetų eilutės ir gauti rezultatai atvaizduojami grafiškai (4 pav.).

Pagal teorinį kriterijų reikšmingumą, kuriame svarbiausias kriterijus yra **mechanizmų darbo sąnaudos**, gauta tokia prioritetų eilutė:

$A1 > A2 > A4 > A3$

Pagal subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kuriame svarbiausias kriterijus yra **įrengimo kaina**, gauta tokia prioritetų eilutė:

$A1 > A2 > A4 > A3$



Diagramoje:

A1- Surenkamų sieninių gelžbetonio plokščių su klinkerio apdaila variantas;
A2- Betoninių blokelių „Haus“ variantas;
A3- Silikatinių plytų variantas;
A4- Medinės konstrukcijos

4 pav. Daugiabučio gyvenamojo namo išorinių sienų konstrukcijų sprendimų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas. *Šaltinis: sudaryta autorių*

Išvados

Atlikta alternatyvių daugiabučio gyvenamojo išorinių sienų konstrukcijų variantų analizė parodė, kad pagal pasirinktus kriterijus labiausiai verta pasirinkti išorinių gelžbetoninių sieninių plokščių konstrukciją su gamykloje suformuota fasado klinkerio apdaila. Šis išorinės sienos sprendimas geriausias ir tuo atveju, kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus - mechanizmų darbo sąnaudos ir kai įvertinamas subjektyvus reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus – įrengimo kaina. Todėl ši išorinės sienos sistema ir pasirenkama projektuojamo daugiabučio gyvenamojo namo išorinėms sienoms.

Literatūra

1. Sudėtingus sprendimus įgyvendiname paprastai. INHUS Construction [interaktyvus]. Prieiga per internetą: www.inhus.lt
2. Blokelių centras [interaktyvus]. Prieiga per internetą: www.blokeliucentras.lt
3. Ekspertai.lt [interaktyvus]. Prieiga per internetą: www.ekspertai.lt
4. Mokomoji moodle medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://vma.ktk.lt/course/view.php?id=850>
5. SA žurnalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: www.sa.lt
6. Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. V.: Technika, 2001. 380p

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF THE EXTERNAL WALL STRUCTURES OF A MULTI-ROOM RESIDENTIAL HOUSE

Summary

The external walls of the building are one of the most important structures. They give the building its shape and structure, perform the function of barriers, and the building's stability, durability, aesthetic appearance, etc., depend on them. The choice of wall structure significantly affects the cost of construction of the object, the choice of future interior and exterior decoration, the complexity of the installation and the choice of machines required for it, the duration of construction, etc. i.e. When choosing walls, it is necessary to take into account the cost of installation, economy, environmental friendliness, durability, aesthetics. The designed multi-apartment residential building must be attractive to future buyers and meet their expectations, the apartments designed in it must be able to be sold at a competitive market price, and the buyer must be willing to pay that price for them. In order to determine a rational option for the construction of the external walls of an apartment building, the article analyses four alternative solutions for the external walls. The multi-criteria utility value method is used for their assessment. The subjective significance of the criteria is assessed using expert ranking and pairwise comparison methods.

Keywords: construction of prefabricated three-layer reinforced concrete panels with a factory-formed facade layer of clinker tiles; multi-layered concrete block masonry walls with a plastered façade; multi-layered walls made of solid M200 silicate brick masonry; multi-storey building made of innovative wooden structures.

ADMINISTRACINĖS PASKIRTIES PASTATŲ KARKASO SPRENDINIŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS, TAIKANT DAUGIAKRITERINĮ VERTINIMĄ

Rimvydas Žukauskas, Violeta Medelienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Administraciniai pastatai miestuose yra vieni ryškiausių ekonominės veiklos, socialinės, technologinės ir finansinės pažangos rodiklių. Didelis dėmesys jų projektuose skiriamas architektūrai kaip priemonei, formuojančiai jų įvaizdį, kuriančiai palankias sąlygas darbuotojams ir klientams bei statybos trukmei. Be to šie pastatai turi tenkinti galiojančius norminius reikalavimus, būti suprojektuoti iš šiuolaikinių aplinką tausojančių tvarių medžiagų. Surasti efektyvius sprendinius ne visada yra paprastas ir lengvas uždavinys.

Tyrime keliamas tikslas- išanalizavus administracinės paskirties pastatų laikančio karkaso alternatyvius sprendinius bei atlikus jų modeliavimą ir vertinimą, nustatyti efektyvų karkaso sprendinį. Straipsnyje pateikta įvairių medžiagų karkasų ir jų išorinių atitvarų analizė, atliktas sprendinių modeliavimas, sudaryti jų deriniai, bei atlikus daugiakriterinį vertinimą, nustatytas efektyvus karkaso sprendinys.

Reikšminiai žodžiai: pastatų karkasai, išorinės atitvarinės konstrukcijos, variantų modeliavimas, deriniai, rodiklių reikšmingumas, daugiakriterinis vertinimas, efektyvus sprendinys.

Ivadas

Pastaruosiu metu statybos sektorius Lietuvoje vystosi labai sparčiai. Tai rodo nuolat rinkoje atsirandančios naujos statybinės medžiagos, tvarūs šiuolaikiniai gaminiai vis modernesnės ir įvairesnės konstrukcijos bei naujos, pažangios gamybos ir statybos technologijos. Pagrindinė naujų sprendinių atsiradimo priežastis- šiam laikotarpiui keliamų gerokai aukštesnių šiluminės energijos naudingumo reikalavimų ir medžiagų bei konstrukcijų tvarumo užtikrinimas (Žukauskas ir kt., 2022).

Lietuvos respublikos Aplinkos ministerija siūlo nuo 2024 m. visuomeninius pastatus statyti iš medienos ir organinių medžiagų, kurios sudarytų 50 proc. viso statinio statybos medžiagų (LR Aplinkos ministerija, 2021). Nors šiuo metu nėra draudžiama daugiaaukščių medinių konstrukcijų pastatų statyba, tačiau teisės aktai leidžia statyti tik santykinai mažo aukštingumo pastatus, apribojant jų aukštį. Nuo 2024-ųjų siūloma tokius apribojimus švelninti, leidžiant projektuoti ir aukštesnius pastatus. Tokiu atveju galėtų būti projektuojami ir kelių aukštų mediniai administracinės paskirties pastatai (Žukauskas ir kt., 2022).

Projektuojant administracinės paskirties pastatus vienas iš svarbiausių uždavinių- pasirinkti tinkamas konstrukcijas, kurios atitiktų šio tipo pastatams keliamus norminius reikalavimus, technines sąlygas, saugotų gamtą, būtų ilgaamžės, užtikrintų naudotojų poreikius. Šiuo metu taip pat aktualu, kad, nekeičiant pastato laikančių konstrukcijų, pastatus būtų galima nesudėtingai išardyti, atnaujinti fasadus, perplanuoti vidaus patalpas. Karkasiniai pastatai yra vienas iš lengviausių būdų šių reikalavimų realizavimui (Žukauskas ir kt., 2022).

Administracinės paskirties karkasinių pastatų statyboje tradiciškai vyrauja gelžbetoniniai, metaliniai ir mišrūs gelžbetonio- metalo karkasai. Tačiau vis dažniau, atsižvelgiant į šiuolaikinius reikalavimus, vietą randa ir mediniai bei lengvų konstrukcijų metaliniai karkasai. Karkaso tipas dažniausiai lemia ir išorinės atitvaros konstrukcinį sprendinį, kuris užtikrina pastato šiluminius reikalavimus bei išskirtinį estetinį vaizdą. Tokių sprendinių taip pat yra gausus pasirinkimas. Dėl šių priežasčių administracinių pastatų projektavimas tampa daugialypiu, sudėtingu procesu, reikalaujančiu daug laiko, žinių ir komandinio darbo. Šiuo atveju projektuotojams iškyla *problema* nuspręsti, kuris karkasas ir jį atitinkanti išorinės atitvaros konstrukcija geriausiai tinka duotai projektavimo užduočiai atlikti?

Todėl šiame tyrime formuluojamas *tikslas*- išanalizavus administracinės paskirties pastatų laikančio karkaso alternatyvius sprendinius bei atlikus jų modeliavimą ir vertinimą, nustatyti efektyvų karkaso sprendinį.

Tiksliui realizuoti, numatyti tokie uždaviniai: 1- išanalizuoti administracinės paskirties karkasų tipus ir atitinkamų išorinių atitvarų konstrukcijas; 2- sudaryti karkasų konstrukcijų ir jų išorinių atitvarų derinius; 3- nustatyti karkasų derinių svarbiausius vertinimo aspektus, sudaryti vertinimo rodiklių sistemą ir apskaičiuoti rodiklių reikšmingumą; 5- atlikti karkaso derinių daugiakriterinį vertinimą ir nustatyti efektyvų sprendinį.

Tyrimo objektas- administracinio pastato karkasų ir išorinių atitvarų projektai.

Tyrimas atliktas prisilaikant tokių etapų: 1- taikant informacijos šaltinių analizės metodus atlikta administracinių pastatų karkasų ir išorinių atitvarinių konstrukcijų analizė; 2- taikant modeliavimo metodus, sudaryti alternatyvų variantų deriniai; 3- naudojant alternatyvių projektų analizės ir ekspertinės apklausos metodus sudaryta vertinimo rodiklių sistema ir naudojant teorinius bei ekspertinius metodus, apskaičiuotas

jų reikšmingumas; 4- naudojant daugiakriterinio vertinimo metodus, atliktas variantų derinių vertinimas ir nustatytas efektyvus karkaso ir išorinės atitvaros derinys.

Administracinės paskirties pastatų karkasų variantų analizė ir derinių sudarymas

Laikantis karkasas yra viena iš svarbiausių pastato dalių, kuris ne tik perima apkrovas į pastatą, bet, priklausomai nuo pasirinktų išorės atitvarinių konstrukcijų, suteikia pastatui pageidaujamą architektūrinę išvaizdą, realizuojant užsakovo pageidavimus ir idėjas. Karkasiniam pastatui būdinga didelė vidinė erdvė, kurią galima lengvai pertvarkyti ir pritaikyti naujai paskirčiai.

Sienos karkasas yra plokščio rėmo pavidalo, sudarytas iš metalinių, gelžbetoninių, medinių statramsčių, skersinių, spyrių. Jis pripildomas užpildo (plytų, lengvojo betono, mineralinės vatos) ir aptaisomas lentomis, lakštais, plokštėmis, aliuminio- stiklo konstrukcijomis ar pan. (Nakas, 2022).

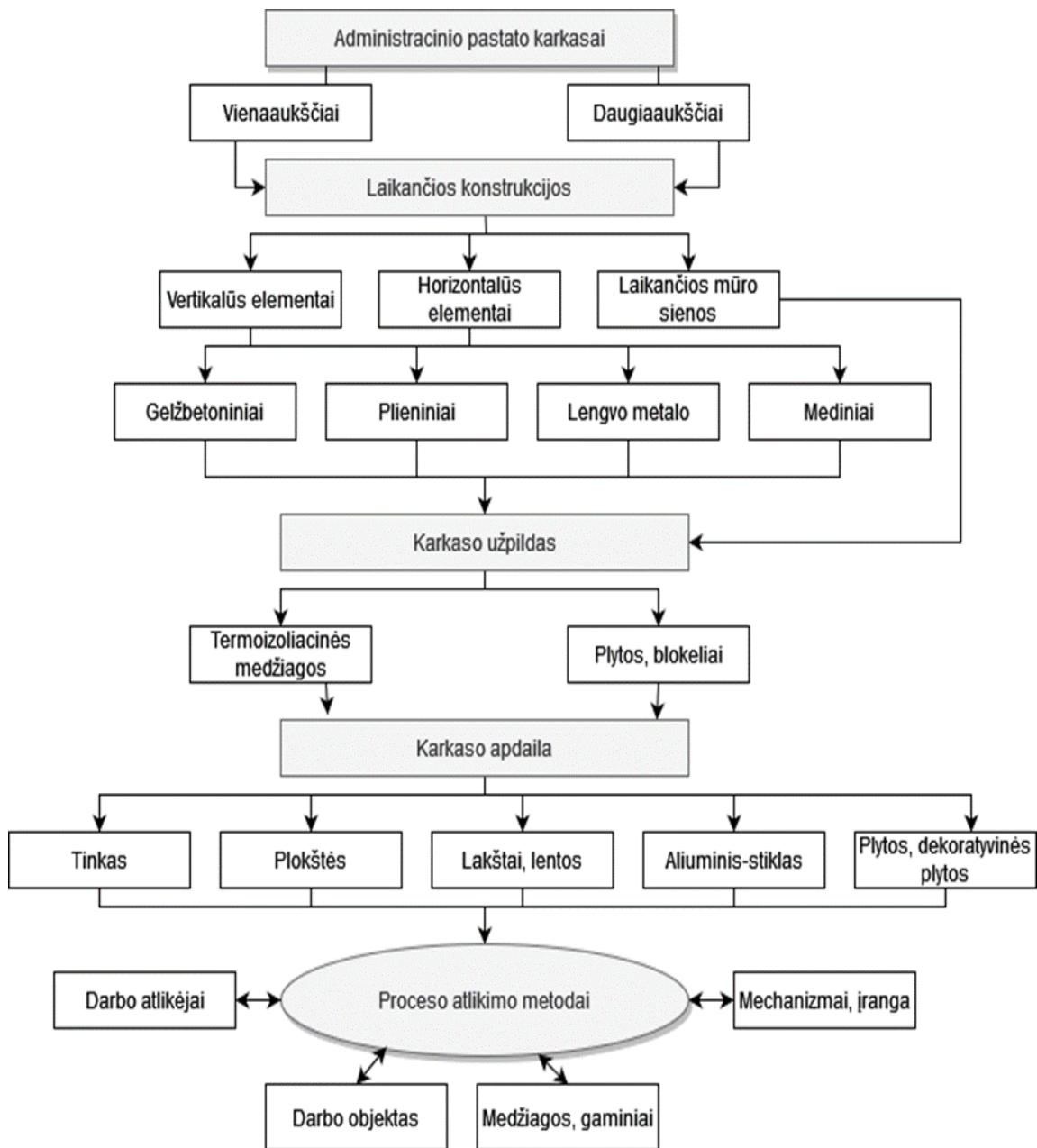
Medinį laikantį karkasą sudaro mediniai elementai: skersiniai ir išilginiai tašai (žiūr. 1 lentelę, 1 derinį), kurie yra sujungiami varžtais ar metaliniais elementais. Išskiriami du medinių karkasinių pastatų tipai - karkasiniai pastatai, kai karkaso konstrukcijos surenkamos statybos aikštelėje ir mediniai karkasiniai-skydiniai pastatai, kai karkaso konstrukcijos pagaminamos gamykloje be apšiltinimo ar su apšiltinimu ir plokščių apkalomis. Patys skydai gali būti su išorės apdaila, langais ir lauko durimis. Skydai surenkami statybos aikštelėse ir tokių pastatų baigtumas gamykloje sudaro apie 50- 80 % (Karkasinio namo statyba, 2022). Medinio karkaso tarpai užpildomi termoizoliacine medžiaga, o iš vidinės ir išorinės pusės aptaisomi apdailos sluoksniais (žiūr. 1 lentelę, 1 derinį).

Lietuvoje pastatų su išorinėmis *laikančiomis mūrinėmis sienomis* konstrukcijose dėl didesnių išmatavimų ir spartesnės statybos vietoj plytų pasirenkami silikatiniai, keraminiai, keramzitbetonio, akyto betono (dujų silikato) blokeliai, o tam kad būtų užtikrinta reikiama šiluminė išorės sienų varža, atitinkanti šiuolaikinius reikalavimus, jos apšiltinamos, įrengiant šilumą izoliuojančių medžiagų sluoksnį, o nuo agresyvaus išorinės aplinkos poveikio apsaugomos įvairiais apsauginiais sluoksniais (žiūr. 1 lentelę, 2 derinį). Parenkant atitvarinių konstrukcijų sprendinius reikia derinti laikančių elementų medžiagas su termoizoliacinėmis medžiagomis (Jonaitis ir kt., 2013).

Pastaruosiu metu Lietuvoje pradėti statyti *lengvo plonasis plieno konstrukcijų karkasiniai pastatai* (žiūr. 1 lentelę, 3 derinį). Užsienio šalyse statyba iš tokių konstrukcijų naudojama jau seniai. Lyginant su medinių konstrukcijų karkasu, metalinis karkasas yra daug stabilesnis, nes metalas, skirtingai nei mediena, „nevaikšto“. Tokiu būdu šiuose pastatuose išvengiama deformacijų, įtrūkimų (Metalinio karkaso namai, 2022). Rėminis karkasas modeliuojamas naudojant programinę įrangą pagal pateiktą architektūrinį projektą, gamybos ceche paruošiami profiliai ir surenkami rėmai, kurie nugabenami į statybvietę ir sujungiami su pamatais ir tarpusavyje, kas labai pagreitina statybą. Galimos visos metalinio karkaso apšiltinimo medžiagos - mineralinė vata, polistireninis putplastis, poliuretano putos, daugiasluoksnės sieninės plokštės su išorine apdaila ir kt. Tokio tipo karkasuose gali būti naudojamos ir aliuminio- stiklo konstrukcijos (žiūr. 1 lentelę, 3 derinį).

Surenkamo gelžbetonio karkaso konstrukcijų atgimimą lėmė atsiradusios naujos surenkamojo gelžbetonio karkasų gamybos technologijos. Gaminų formos, kuriose jie ruošiami, universalios, todėl galimos įvairios gaminių konfigūracijos, sudarančios galimybę įvairiesiems architektūriniais sprendimams (žiūr. 1 lentelę, 4 derinį). Jų elementai gaminami pagal individualius architekto bei projektuotojų pageidavimus. Taip atsiranda galimybė modeliuoti erdves pagal individualius poreikius, o vėliau šiuos elementus jungti į architektūrinę visumą (Surenkamas gelžbetonis: naujos galimybės verslui, 2015). Naudojamos technologijos leidžia išgauti reikiamą konstrukcijų paviršių lygumą, todėl sumažėja sąnaudos paviršių paruošimui. Į statybos aikšteles gaminiai atvežami jau visiškai paruošti montavimui, kas labai paspartina pastatų statybos procesą. Dažniausiai administracinių pastatų gelžbetonio karkasai užpildomi gamykloje pagamintomis daugiasluoksnėmis plokštėmis iš metalo (žiūr. 1 lentelę, 4 derinį), gelžbetoninėmis plokštėmis, kurios gali būti su dekoratyviniu paviršiumi, jau su apšiltinimu ar be jo (Surenkamo gelžbetonio konstrukcijos diktuoja racionalius sprendimus, 2009).

Remiantis atlikta administracinių pastatų ir jų atitvarinių konstrukcijų analize bei tinklinio modeliavimo metodu, sudarytas pastato karkasų ir jų išorinių atitvarų įrengimo kompleksinio proceso struktūros modelis (žiūr. 1 pav.), kur einant kiekviena modelio šaka, surandami galimi karkasinio pastato ir jo išorinių atitvarų deriniai.



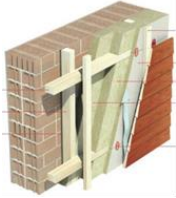
1 pav. Administracinio pastato karkaso įrengimo kompleksinio proceso struktūros modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis šiuo modeliu (žiūr. 1 pav.) sudaryti dažniausiai projektuose naudojami administracinio pastato karkasų ir jų išorinių atitvarų deriniai (žiūr. 1 lentelę).

1 lentelė

Karkasų ir išorinių atitvarų deriniai

Deriniai	Karkasas		Išorinė atitvara
1 derinys. Medinis karkasas su mineraline vata apšiltinta siena ir medinių dailylenčių apdaila (A1)	 Šaltinis: Mediniai karkasiniai pastatai. https://www.youtube.com/watch?v=4yKwRVm88g0	+	 Šaltinis: Efektyvūs sprendimai sienų šiltinimui.

Deriniai	Karkasas		Išorinė atitvara
			http://www.renovacija.lt/naujienu/efektyvus-sprendimai-sienu-siltinimui/
2 derinys. Mūrinė siena su ventiliuojamo fasado konstrukcija (A2)	 Šaltinis: ASA.lt. Prieiga per internetą: https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/95/1/0/1/article/18927/murinio-namo-statyba	+	 Šaltinis: Vėdinamų sistemų projektavimo vadovas (Paroc). Prieiga per internetą: https://www.paroc.lt/apie-paroc/naujienu/naujienu-archyvas/2022/vedinamu-sienu-sprendimai-ir-projektavimo-vadovas
3 derinys. Metalinis karkasas su aliuminio-stiklo išorės sienos konstrukcija (A3)	 Šaltinis: Metalinio karkaso namai. Prieiga per internetą: https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/72/1/0/1/article/19458/metalinio-karkaso-namai	+	 Šaltinis: Stikmeta. Fasada. https://stikmeta.lt/wp-content/uploads/2023/06/CIMG9902-scaled.jpg
4 derinys. G/b karkasas su metalinių daugiasluoksnių plokščių apdaila (A4)	 Šaltinis: Surenkamas gelžbetonis: naujos galimybės verslui. Prieiga per internetą: https://structum.lt/surenkamasis-gelzbetonis-naujos-galimybes-verslui/	+	 Šaltinis: Daugiasluoknės plokštės išorinėms sienoms, 2022. Prieiga per internetą: https://www.ruukki.com/ltu/building-envelope/produktai/

Šaltinis: Sudaryta autorių

Pastatų karkasų variantų vertinimo rodiklių sistemos sudarymas ir jų reikšmingumo skaičiavimas

Vertinimo rodiklių sistemos sudarymas - sudėtingas ir atsakingas uždavinys. Įvairūs šio uždavinio sprendimai, problematika plačiai nagrinėjami mokslinėje literatūroje (Zavadskas ir kt., 1999; Karablikovas ir kt., 2002; Ustinovičius ir kt., 2003; Baliutavičienė, 2023). Rekomenduojama pasirinkti rodiklius, kuriuos galima pamatuoti, t.y. išreikšti skaičiais, procentais, koeficientais, pasirinkti rodiklius, kurių duomenys skelbiami viešai, žinoma duomenų rinkimo metodologija ir pan. Siekiama kiek galima tiksliau aprašyti analizuojamus projektinius sprendimus, sudaryti atitinkamą vertinimo rodiklių sistemą, apskaičiuoti rodiklių skaitines reikšmes ir nustatyti jų reikšmingumus (Zavadskas ir kt., 1999; Ustinovičius ir kt., 2003; Baliutavičienė, 2023).

Karkasų ir jų išorinių atitvarų derinių vertinimui, remiantis respondentų nuomone, parinkti tokie vertinimo rodikliai: medžiagų kaina (K1), darbų atlikimo laikas (K2), mechanizmų darbo laikas (K3), darbo sudėtingumas (K4) ir medžiagų tvarumas (K5). Vertinimo rodiklių matavimo vienetai ir jais suinteresuotos grupės pateiktos 2-oje lentelėje.

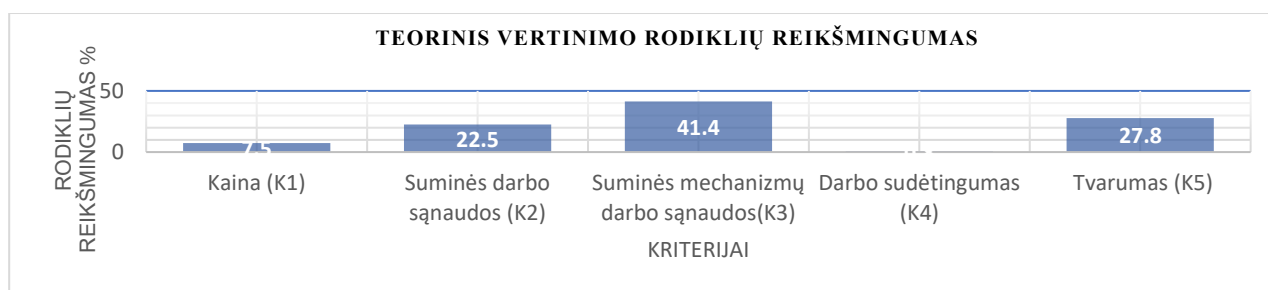
2 lentelė

Vertinimo rodiklių sistema ir rodikliais suinteresuotos grupės

Eil. Nr.	Rodiklio pavadinimas	Matavimo vnt.	Rodikliu suinteresuotos grupės		
			Užsakovas, naudotojas	Projektuotojas	Rangovas
Techniniai ekonominiai rodikliai					
1.	Medžiagų kaina	Eur/tarpatramiui	+	+	+
2.	Darbų atlikimo laikas	Žm.val/tarpatramiui	+	-	+
3.	Mechanizmų darbo laikas	Maš. val./tarpatramiui	-	-	+
4.	Darbo sudėtingumas	Darbo kategorija	-	-	+
5.	Tvarumas	Balai	+	+	-

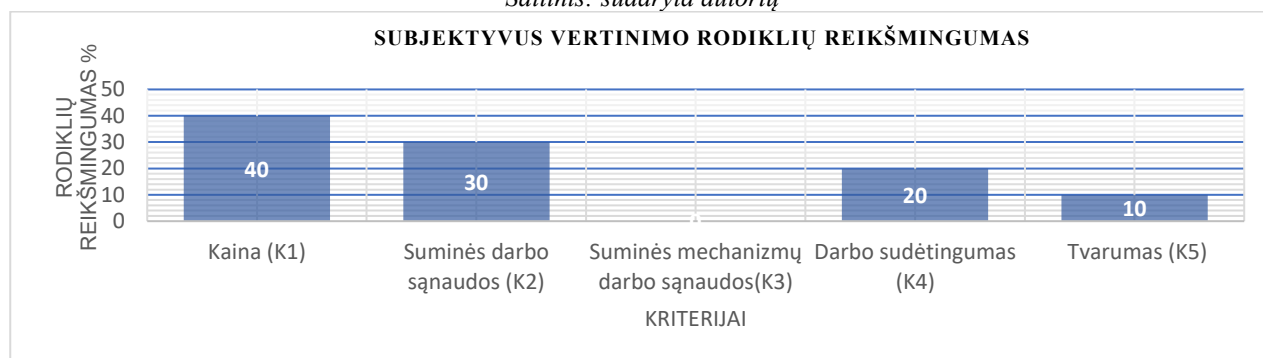
Šaltinis: sudaryta autorių

Analizuojant vertinimo rodikliais suinteresuotų grupių veiklą atskiruose sprendimų priėmimo etapuose (2 lentelė) galima konstatuoti, kad atskiriems proceso dalyviams atskiruose etapuose jie nėra vienodai svarbūs: mažiau svarbūs rodikliai tada, kada proceso dalyvis yra tik stebėtojas, svarbesni, kai naudotojas. Ginčai tarp projektuotojų, rangovų ir užsakovų (naudotojų) gali būti išsprendžiami dominavimo, kompromiso ar konstruktyviu būdu (Zavadskas ir kt., 1999; Karablikovas ir kt., 2002). Tam tikslui skaičiuojamas vertinimo rodiklių reikšmingumas. Tyrimo vertinimo rodiklių skaičiavimui naudotas teorinis entropijos ir ekspertinis porinio palyginimo metodai (Zavadskas ir kt., 1999; Zavadskas ir kt., 2001; Ustinovičius ir kt., 2003). Vertinimo rodiklių reikšmingumo skaičiavimo rezultatai pateikti 2,3 pav.



2 pav. Teorinis rodiklių reikšmingumas, apskaičiuotas taikant teorinį entropijos metodą

Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas, apskaičiuotas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą

Šaltinis: sudaryta autorių

Pastatų karkasų derinių variantų daugiakriterinis vertinimas ir efektyvaus sprendinio nustatymas

Daugiatiksliam pastato karkaso derinių vertinimui pasirinktas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas, kurio esmė- surasti tokį projektinį sprendinį, kurio vertinimo rodiklių suminė naudingumo vertė yra didžiausia (Zavadskas, 2001; p.182-194; Medelienė, 2011; p. 90- 92).

Pagal moksliniuose šaltiniuose pateiktą šio metodo taikymo metodiką ((Zavadskas, 2001; p.182-194; Medelienė, 2011; p. 90- 92) apskaičiuotos karkaso derinių variantų vertinimo rodiklių naudingumo vertės pateiktos 3-čioje lentelėje, o grafiškai išreikšti rezultatai- 4 pav.

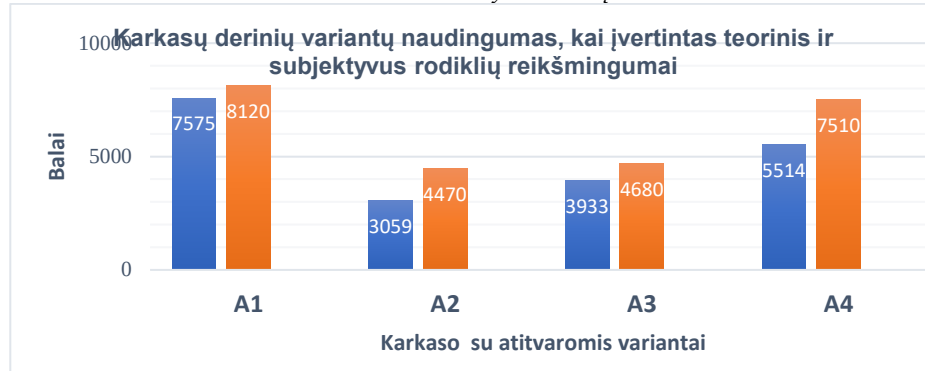
3 lentelė

Karkaso derinių naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai

$\bar{q}_0, \%$	Matrica $\bar{C} * \bar{q}_1$				$\bar{q}, \%$	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
7,5	750	300	255	413	40	4000	1600	1360	2200

$\bar{q}_t, \%$	Matrica $\bar{C} * \bar{q}_t$				$\bar{q}_t, \%$	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$			
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
22,5	1215	360	720	2250	30	1620	480	960	3000
41,4	4140	248	124	704	0	0	0	0	0
0,8	80	66	54	62	20	2000	1640	1360	1560
27,8	1390	2085	2780	2085	10	500	750	1000	750
	7575	3059	3933	5514		8120	4470	4680	7510

Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Karkaso derinių variantų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus rodiklių reikšmingumai

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus karkaso derinių variantų daugiakriterinį vertinimą nustatyta, kad įvertinus teorinį rodiklių reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai buvo įrengimo laikas ir tvarumas, racionalus karkaso derinys- medinis karkasas su mineraline vata apšiltinta siena ir dailylenčių apdaila (A1).
2. Įvertinus subjektyvų rodiklių reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai buvo kaina ir įrengimo laikas nustatytas racionalus karkaso derinys taip pat medinis karkasas su mineraline vata apšiltinta siena ir dailylenčių apdaila (A).
3. Išanalizavus vertinimo rezultatus nustatyta, kad pagal pasirinktą techninių ekonominių vertinimo rodiklių sistemą racionalus sprendinys yra medinis karkasas su mineraline vata apšiltinta siena ir dailylenčių apdaila (A), kuris ir būtų efektyvus projektuojant mažaukščius administracinės paskirties pastatus.

Literatūra

1. Aksa. Gelžbetonio konstrukcijos, 2018. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-10-25]. Prieiga per internetą <https://aksa.lt/category/c18-naujienu-verslui/page/2/>
2. Aliuminio fasadų privalumai (Premmier) [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 18]. Prieiga per internetą: <http://facade.premmier.lt/fasadai/aliuminio-fasadu-privalumai/>
3. Baliutavičienė D. Vienbučio gyvenamojo namo skirtingų sienos konstrukcijų efektyvumo daugiakriterinis vertinimas (Baigiamasis magistro projektas).- Kauno technologijos universitetas, 2023, p. 33-47.
4. Blokeliai ir plytos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 19]. Prieiga per internetą: <https://mimeta.lt/402-blokeliai-ir-plytos>
5. Daugiasluoknės plokštės išorinėms sienoms, [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 11 16]. Prieiga per internetą: <https://www.ruukki.com/ltu/building-envelope/produktai/>
6. Dekoratyvusis betonas, [interaktyvus], 2019. [žiūrėta 2022 10 28]. Prieiga per internetą: <https://sa.lt/dekoratyvusis-betonas-moderni-laiko-isbandyta-apdailos-medziaga/>
7. Doleta Avangard išskirtinė langų kokybė [interaktyvus]. (žiūrėta 2022 10 28). Prieiga per internetą: <http://facade.premmier.lt/fasadai/aliuminio-fasadu-privalumai/>
8. Efektyvūs sprendimai sienų šiltinimui. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 23]. Prieiga per internetą: <http://www.renovacija.lt/naujienu/efektyvus-sprendimai-sienu-siltinimui/>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=4yKwRVm88g0>
10. Jonaitis B., Šneideris A. Sienos, kurios tausoja energiją. Statyba ir architektūra, 2013. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 19]. Prieiga per internetą: <https://www.delfi.lt/verslas/nekilnojamas-turtas/sienos-kurios-tausoja-energija.d?id=61425511>
11. Karablikovas A., Ustinovičius L. Daugiabučių namų stogų racionalių remonto būdų parinkimas, taikant daugiakriterinius įvertinimo metodus.- Inžinerinė ekonomika. 2002, Nr. 3 (29), p. 24-30.
12. Karkasiniai pastatai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 23]. Prieiga per internetą: <https://arinstata.lt/surenkam-konstrukcij-pastatai/>

13. Karkasinio namo statyba [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 03]. Prieiga per internetą: <https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/72/1/0/1/article/18823/karkasinio-namo-statyba-2>
14. Lietuvos respublikos Aplinkos ministerija. Pusę medžiagų visuomeninių pastatų statybai sudarys mediena ir kitos organinės medžiagos, 2021. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 28]. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/puse-medziagu-visuomeniniu-pastatu-statybai-sudarys-mediena-ir-kitos-organines-medziagos>
15. Medelienė V. Pramoninių betoninių grindų dangų gyvavimo proceso kompleksinė analizė ir jų efektyvus sprendimas (Daktaro disertacija).- Kauno technologijos universitetas, 2011- 151 p.
16. Mediniai karkasiniai pastatai, 2018. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022- 11 04] Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=4yKwRVm88g0>
17. Medinių elementų tvirtinimo detalės [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 14] Prieiga per internetą: <https://www.google.com/search?q=mediniu%20siju%20virtinimo%20detales>
18. Medžio konstrukcijų atgimimas: ateityje medinių pastatų bus statoma žymiai daugiau, 2020. [Interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 23]. Prieiga per internetą: <https://www.ntnaujienos.lt/medzio-konstrukciju-atgimimas-ateityje-mediniu-pastatu-bus-statoma-zymiai-daugiau>
19. Metalinio karkaso namai. [Interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 18]. Prieiga per internetą: <https://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/72/1/0/1/article/19458/metalinio-karkaso-namai>
20. Nakas J. Karkasas. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 11 18]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/straipsnis/karkasas/>
21. Sieninės plokštės. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 12]. Prieiga per internetą: <https://www.ukmergesgelzbetonis.lt/sienines-plokstes/>
22. Surenkamas gelžbetonis: naujos galimybės verslui. Structum. Lt, 2015 [Interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 20]. Prieiga per internetą: <https://structum.lt/surenkamasis-gelzbetonis-naujos-galimybes-verslui/>
23. Surenkamo gelžbetonio konstrukcijos diktuoja racionalius sprendimus. Spec.lt. 2009. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 26]. Prieiga per internetą: <https://www.spec.lt/straipsniai/betono-gaminiai-surenkamojo-gelzbetonio-konstrukcijos-diktuoja-racionaliausius-sprendimus>
24. Tamašauskaitė A. Nuo minties apie inžinerinę medieną iki medinių dangoraižių, 2021 [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 18]. Prieiga per internetą: <https://sa.lt/nuo-minties-apie-inzinerine-mediena-iki-mediniu-dangoraiziu/>
25. UAB OLB Baltic. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 03]. Prieiga per internetą: <https://www.facebook.com/OLB.Baltic/photos>
26. Ustinovičius L., Linkevičius S. Statybos uždavinių sprendimas taikant operacijų tyrimo metodus: mokomoji knyga. VGTU: Technika. 2003. 136p.
27. Vėdinamų sistemų projektavimo vadovas (Paroc), 2021. [interaktyvus]. [žiūrėta 2022 10 12]. Prieiga per internetą: <https://www.paroc.lt/apie-paroc/naujienos/naujienu-archyvas/2022/vedinamu-sieniu-sprendimai-ir-projektavimo-vadovas>
28. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
29. Zavadskas E.,K., Simanauskas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija).- Vilnius, Technika, 1999, 236 p.
30. Žukauskas R., Medelienė V. Administracinės paskirties pastato karkaso sprendinių lyginamoji analizė.- Mokslinės konferencijos „Pramonės ir verslo sinergija tvariai ateičiai“ recenzuotų straipsnių rinkinys (elektroninis), Kauno technikos kolegija, 2022, p.18-25. Prieiga per internetą: https://www.ktk.lt/uploads/ba46800f-0443-424a-9fd8-bf0ce131f290/Konferencijos_recenzuot%20c5%b3_straipsni%20c5%b3_rinkinys_2022.pdf

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FRAMEWORK SOLUTIONS FOR ADMINISTRATIVE BUILDINGS USING MULTI-CRITERION ASSESSMENT APPROACH

Summary

Administrative buildings in cities are one of the most prominent indicators of economic activity and social, technological and financial progress. In their projects, great attention is paid to architecture as a means of shaping their image, creating favourable conditions for employees and customers, and the construction period. In addition, these buildings must meet the applicable regulatory requirements and be designed from modern, environmentally friendly, sustainable materials. Finding effective solutions is not always a simple and easy task.

The primary objective of this study is to ascertain an optimal framework solution for supporting administrative buildings. To attain this end, the study analysed alternative solutions and conducted extensive modelling and evaluation. The article presents a comprehensive analysis of frames made of various materials and their external walls. The solutions were simulated, combined, and evaluated using a multi-criteria approach. Subsequently, an effective frame solution was identified based on the results of the evaluation.

Key words: building frames, external enclosure structures, modelling, combinations, the significance of indicators, multi-criteria evaluation, effective solution.

SPECIALIOS PASKIRTIES PASTATO FASADO ŠILTINIMO SISTEMŲ SPRENDINIŲ ANALIZĖ

Marija Derškutė, Violeta Medelienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Fasadų šiltinimas – tai specializuota statybų sritis, kuri leidžia smarkiai sumažinti šildymo išlaidas, išvengti kondensato susidarymo vidinėse pastato konstrukcijose ir pasiekti gerą garso izoliaciją. Siūlomų sertifikuotų fasadų šiltinimo sistemų Lietuvos rinkoje vis daugėja. Pastato šiltinimo ir apdailos sistemos pasirinkimas – tai ne tik estetiškas sprendimas- nuo jos priklauso ir pastato vidaus mikroklimatas, ir jo eksploatavimo sudėtingumas, šiluminės charakteristikos, sandarumas bei estetinė išvaizda. Sprendžiant kokią fasado šiltinimo sistemą išsirinkti, analizuojama daugybė vertinimo aspektų pagal kuriuos dëllojami prioritetai. Tai sudėtingas ir painus uždavinys projektuotojams.

Šiame tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti sertifikuotas Lietuvos rinkai siūlomas fasadų šiltinimo sistemas ir nustatyti racionalų sprendinį specialios paskirties pastatui.

Straipsnyje pateikiama detali sertifikuotų fasado šiltinimo sistemų analizė, vertinimo rodiklių sistema ir daugiatis jų variantų vertinimas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą. Vertinimo rezultatai leido nustatyti racionalų sertifikuotos fasado šiltinimo sistemos variantą, kuris vëliau panaudotas specialios paskirties pastato projekte.

Reikšminiai žodžiai: sertifikuotos fasado šiltinimo sistemos, vertinimo kriterijai, teorinis reikšmingumas, subjektyvus reikšmingumas, naudingumo vertės metodas, racionalus sprendinys.

Ivadas

Energijos taupymas – svarbi energetikos politikos dalis ir tiesioginis būdas, mažinantis CO2 emisiją ir kontroliuojantis globalinį atšilimą. Geriausias energijos taupymo sprendimas – pastatų energetinis efektyvumas, naudojant tvarias ir efektyvias šilumą izoliuojančias medžiagas, sertifikuotas šiltinimo sistemas ir kokybiškas įrengimo technologijas (Ališauskas, 2021; p.6-7).

Didžiausia energijos dalis pastatuose išnaudojama pastatams šildyti bei vėsinti. Norint išvengti didelių nuostolių, tiek Lietuvoje, tiek visoje Europoje sparčiai tobulinamos atitvarų šiltinimo technologijos, keliama vis aukštesni energetinio efektyvumo reikalavimai (Raicevičius, 2018; p.10). Viena iš tokių konstrukcijų, kurioms skiriamas ypač didelis dėmesys yra pastatų fasadų šiltinimas.

Nuo 2022 metų įsigaliojo statybos techninio reglamento STR 2.04.01:2018 reikalavimas, kad pastatų fasadų apšiltinimui galima naudoti tiek nevėdinamas, tiek vėdinamas sistemas, kurios privalo turėti Europos techninį įvertinimą (ETĮ) ir paženklintos CE ženklu arba turi turėti Nacionalinį techninį įvertinimą (NTĮ). Tai reiškia, kad projektuotojams nebeliko galimybės suprojektuoti fasado apšiltinimo sistemą iš atskirų, kad ir turinčių CE ženklinių, elementų (Vėdinamos fasadų šiltinimo sistemos nuo šiol- tik su nacionaliniais arba europiniais techniniais įvertinimais, 2023). Sistemas sudarančios medžiagos turi būti natūraliai atsparios korozijai, drėgmei, pelėsiui ir ultravioletinei spinduliutei. Taip pat turi būti pateikta išsami ir teisinga informacija apie fasadų šiltinimo sistemose naudojamų medžiagų ir komponentų savybes, jų gamybos ir eksploatavimo poveikį aplinkai ir žmogaus sveikatai, perdirbimo galimybes atliekant pastatų demontavimą.

Atsiradus naujiems reikalavimams, gamintojai Lietuvos rinkai pradėjo siūlyti įvairias sertifikuotas fasadų šiltinimo sistemas- tiek vėdinamas tiek nevėdinamas. Projektuotojams natūraliai iškilo *problema*-kuri šiltinimo sistema yra efektyvesnė ir kurią racionaliau rinktis projektuose?

Šiame tyrime keliamas tikslas- išanalizuoti alternatyvias sertifikuotas vėdinamų ir nevėdinamų fasadų šiltinimo sistemas ir nustatyti racionalų variantą specialios paskirties pastatui. Tyrimo objektas- sertifikuotos šiltinimo sistemos.

Tyrimo tikslui realizuoti, iškelti tokie uždaviniai- 1- atlikti sertifikuotų fasadų šiltinimo sistemų analizę; 2- nustatyti aktualius vertinimo rodiklius ir sudaryti vertinimo kriterijų sistemą; 3- apskaičiuoti kriterijų reikšmingumą, ir atlikti daugiakriterinį sistemų vertinimą.

Tyrimas atliktas tokiais etapais: pirmame etape, naudojant informacijos šaltinių analizės metodą, atlikta siūlomų sertifikuotų sistemų analizė ir atrinkti variantai vertinimui; antrame etape naudojant ekspertinės apklausos metodus ir apklausiant suinteresuotas grupes, nustatyti aktualūs rodikliai ir sudaryta vertinimo kriterijų sistema; trečiame etape naudojant kriterijų reikšmingumo nustatymo metodus, apskaičiuotas jų reikšmingumas; ketvirtame etape taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą, nustatytas racionalus fasado apšiltinimo sistemos variantas.

Specialios paskirties pastato fasado apšiltinimo sistemų variantų analizė

Šiame tyrime analizuojamos 5 skirtingų gamintojų siūlomos sertifikuotos ETICS fasado apšiltinimo sistemos: neventiliuojamos- CAPAROL, SAKRET, PAROC ir ventiliuojamos- FINNFOAM ir ROCKWOOL. Visos šios sistemos įrengiamos ant tokios pačios laikančios mūrinės konstrukcijos pagrindo, todėl ši dalis tyrime plačiau neanalizuojama.

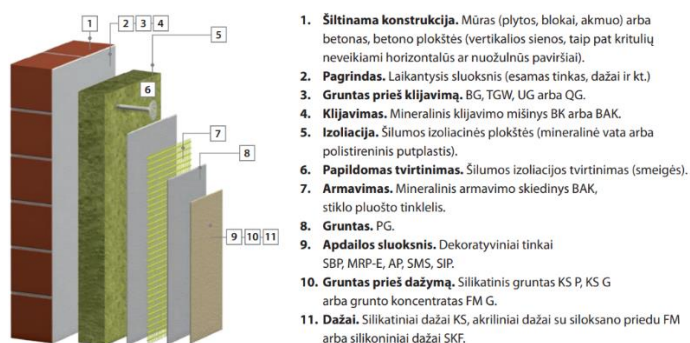
Caparol (A1) fasadų šiltinimo sistemos yra sertifikuotos, todėl visi jų komponentai tarpusavyje tiksliai suderinti (žiūr. 1 pav.). Renkantis šią sistemą maksimaliai išvengiama įrengimo klaidų ir prailginama fasado šiltinimo sistemos eksploatacijos trukmė. Sistemose naudojamos NQG technologijos užtikrina ilgaamžiškumą ir atsparumą smūgiams bei atmosferos veiksniams. Izoliacinės medžiagos šilumos laidumo koeficientas iki 0,032 W/mK (Aldmina statybinės medžiagos- Caparol sistemos, 2023). Sistemoje naudojamos labai plonos izoliacinės plokštės, kurios pagerina sienos estetinį vaizdą. Sistemoje naudojamos specialios viršutinio dengiamojo sluoksnio receptūros, dėl to fasadai ilgą laiką nekeičia spalvos, išlieka švarūs, ant jų nesiveisia pelėsiai ir kiti mikroorganizmai.



1 pav. Fasadų šiltinimo sistema Caparol

Šaltinis: ADLIMINA statybinės medžiagos. Caparol sistemos. <https://www.adlimina.lt/apsiltinimo-medziagos/fasadu-siltinimo-sistemas/caparol-sistemas/>

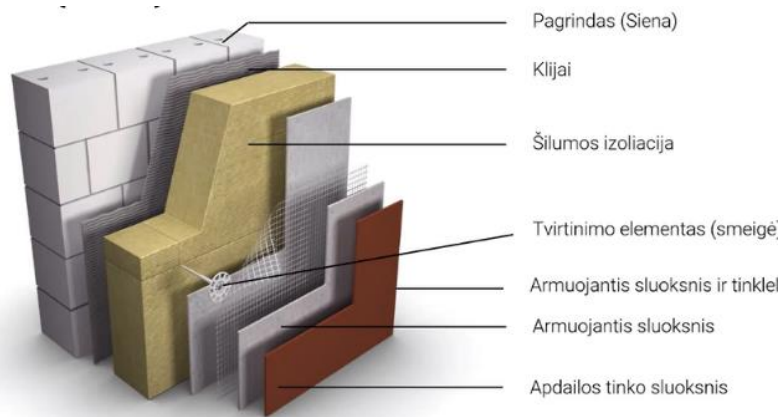
SAKRET (A2) fasadų šiltinimo sistemos (žiūr. 2 pav.) užtikrina šiuolaikinius energetinio naudingumo reikalavimus išorinėms sienoms bei pagerina apsaugą nuo atmosferos poveikio ir atnaujina dekoratyvinę išvaizdą. Derinių medžiagų bandymai atlikti pagal ETAG 004 metodiką, parengtą Europos techninio vertinimo organizacijos EOTA (Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija, 2023). Remiantis bandymų rezultatais sukurtos dvi fasadų šiltinimo sistemos, kurios gavo Europos techninio vertinimo patvirtinimą (ETA): ETICS SAKRET MW (ETA – 10/0185) ir ETICS SAKRET EPS (ETA – 10/0064). Šie įvertinimai patvirtina medžiagų suderinamumą šiltinimo sistemose ir ilgą tarnavimo laiką. Atitiktis ETAG 004 reikalavimams numato, kad šiltinimo sistema tarnauja mažiausiai 25 metus.



2 pav. Standartinė SAKRET fasadų šiltinimo sistemos konstrukcija

Šaltinis: Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija. <https://sakret.lt/wp-content/uploads/2020/10/Fasadu-siltinimo-sistemu-SAKRET-ETICS-projektavimo-ir-montavimo-instrukcija.pdf>

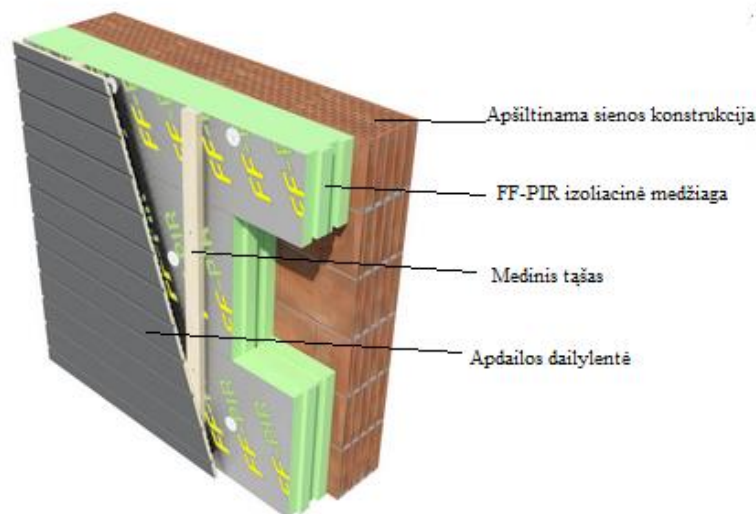
Paroc (A3) sistema sudaryta iš energetiškai efektyvių ir ugniai atsparių akmens vatos gaminių, naudojamų išorinei tinkuojamai termoizoliacinei sistemai įrengti (žiūr. 3 pav.). Šią sistemą sudaro: sistemos kljvai ir/arba mechaninio tvirtinimo elementai, sistemos termoizoliacinės medžiagos armuotasis sluoksnis, armavimo tinklelis ir sistemos išorinis apdailos sluoksnis (Paroc tinkuojamos sienos, 2023). Tinkuojamų sienų įrengimą reglamentuoja Statybos techninis reglamentas STR 2.04.01:2018 „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys“.



3 pav. PAROC fasadų šiltinimo sistemos konstrukcija

Šaltinis: PAROC tinkuojamos sienos, <https://www.paroc.lt/applications/building-insulation/walls/thin-rendering>

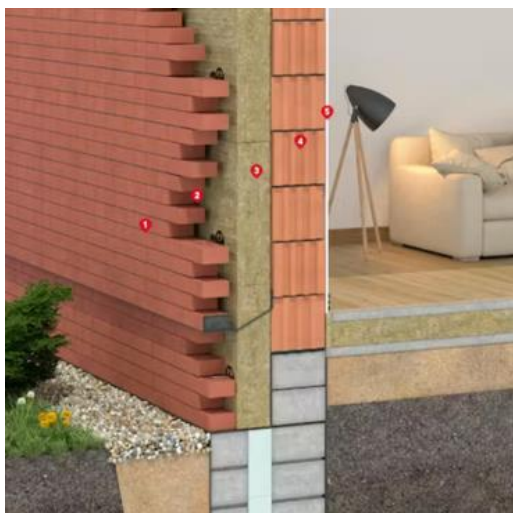
Finnfoam (A4)- ventiliuojamo fasado sistema, kurią sudaro poliuretano plokštės FF-PIR, padengtos daugiasluoksne aliuminio folija, ir ant jų tvirtinamo karkaso, kuris nekerta izoliacinio sluoksnio (žiūr. 4 pav.). FF-PIR – izoliacinė medžiaga, pasižymi itin mažu šilumos laidumo koeficientu ($\lambda_d = 0,022 \text{ W/mK}$), todėl ją sumontavus sukuriamas labai efektyvus ir iki dviejų kartų plonesnis šiltinimo sluoksnis. Šios plokštės yra kietos, todėl karkasas remiamas į jas ir tvirtinamas į pagrindą ilgais ankeravimo varžtais per izoliacinę medžiagą. FF-PIR plokštės yra sandarios, todėl užtikrina ir viso pastato sandarumą. PIR plokštės yra atsparios drėgmei, todėl ventiliuojamam fasadui nereikia papildomų priešvėjinių plėvelių ar kitų medžiagų, šiose plokštėse nevyksta vidinė konvekcija. FF-PIR ventiliuojamo fasado sistema atitinka priešgaisrinius reikalavimus, nes PIR veikiamas liepsnos anglėja ir stabdo ugnies plitimą. Esant padidintiems fasado atsparumo ugniai reikalavimams, galima naudoti FF-PIR FR plokštes, kurios yra padengtos specialia priešgaisrine danga. Šių plokšių degumo klasė yra B-s1, d0 ir ją galima naudoti daugiaaukščių pastatų apšiltinimui (Finnfoam ventiliuojami fasadai, 2023).



4 pav. FINNFOAM ventiliuojamo fasado sistemos konstrukcija

Šaltinis: FINNFOAM ventiliuojami fasadai. <https://finnfoam.lt/sprendimai/sienu-siltinimas/ventiliuojami-fasadai/>

Rockwool (A5) izoliacijos pagrindas gamtinė natūralios kilmės žaliava. ROCKWOOL akmens vatos svarbą išorinių sienų šiltinimo sprendimuose lemia tai, jog pastatuose visus metus užtikrinama tinkama temperatūra bei geras patalpų mikroklimatas, taupoma energija bei prisideda prie tvarių miestų, kuriuose sudaromos palankios sąlygos žmonėms, kūrimo. Medžiagos atsparumas ugniai suteikia papildomą saugumą (Rockwool fasadų izoliacija, 2023). Izoliacija iš akmens vatos gali atlaikyti iki 1000°C temperatūrą, todėl yra tinkama daugiaaukščių ir aukštuminių pastatų statyboje ir atnaujinime. ROCKWOOL akmens vata yra atspari ugniai, turi geras šilumos ir akustines savybes, yra patvari ir ilgaamžė, ją galima perdirbti ir panaudoti antrą kartą, yra atspari drėgmei ir vandeniui. Dėl matmenų stabilumo žymiai sumažėja šilumos nuostoliai tarpuose tarp jų (žiūr. 5 pav.).



- 1- Apdailos plytų mūras;
- 2- Vėdinamas oro tarpas;
- 3- Akmens vatos plokštės VENTIROCK PLUS
- 4- Laikančioji mūro siena
- 5- Vidaus apdaila

5 pav. ROCKWOOL ventiliuojamo fasado apšiltinimo sistemos konstrukcija

Šaltinis: ROCKWOOL fasadų izoliacija. <https://www.rockwool.com/lt/gaminiai-ir-panaudojimas/fasadu-izoliacija/>

Sertifikuotų fasado šiltinimo sistemų variantų vertinimas

Sertifikuotų fasadų šiltinimo sistemų variantams įvertinti pasirinkti daugiakriteriniai metodai, leidžiantys jas įvertinti pagal sudarytą aktualių kriterijų sistemą. Taikant šios metodus galima įvertinti kriterijų reikšmingumą ir, atsižvelgiant į tai, nustatyti racionalų šiltinimo sistemos variantą.

Sistemų vertinimui pasirinktas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas (Zavadskas ir kt., 1996; Zavadskas ir kt., 2002; Zavadskas ir kt., 2008; Medelienė, 2011) o kriterijų reikšmingumas apskaičiuotas, taikant teorinį entropijos ir ekspertinį porinio palyginimo metodus (Zavadskas ir kt., 1996; Zavadskas ir kt., 2002; Medelienė, 2011).

Fasado šiltinimo sistemų sprendiniams vertinti sudaryta aktualių techninių ekonominių rodiklių sistema, o jų reikšmės nustatytos remiantis gamintojų informaciją, sąmatiniais skaičiavimais, technine literatūra, naudotojų apklausa. (žiūr. 1 lentelę).

1 lentelė

Vertinimo kriterijų skaitinės reikšmės

Grindų dangų variantai	Kriterijai					
	Kaina, (EUR/m ²) K5	Šilumos laidumo koeficientas (W/(m*K)) K2	Šilumos izoliacijos storiai (m) K3	Darbo sudėtingumas (kategorija) K4	Ilgamžiškumas, (metai) K5	Degumas, (balai pagal degumo klasę) K6
CAPAROL (A1)	32	2	0,51	4	45,55	2
SAKRET (A2)	33	3	0,95	4	18,90	1
PAROC (A3)	33	3	0,65	3,6	8,99	3
FINNFOAM (A4)	32	3	0,46	4	22,00	3
ROCKWOOL(A5)	33	4	0,74	3,5	33,54	2

Šaltinis: Sudaryta autorių

Remiantis kriterijų reikšmingumo skaičiavimo pagal entropiją algoritmu (Zavadskas ir kt. 2001; p. 139-141) ir ekspertinio porinio palyginimo metodo algoritmu (Zavadskas ir kt. 2001; p. 142-159) vertinimo kriterijų teorinio ir subjektyvaus reikšmingumo skaitinės reikšmės pateiktos 2-oje lentelėje.

2 lentelė

Vertinimo kriterijų teorinis ir subjektyvus reikšmingumai

Naudotas kriterijų reikšmingumo metodas	Kriterijų reikšmingumas					
	Kaina, (EUR/m ²) K5	Šilumos laidumo koeficientas (W/(m*K)) K2	Šilumos izoliacijos storiai (m) K3	Darbo sudėtingumas (kategorija) K4	Ilgamžiškumas, (metai) K5	Degumas, (balai pagal degumo klasę) K6
Teorinis entropijos metodas (teorinis reikšmingumas)	41,4	6,4	6,4	5,4	25	15,4
Ekspertinis porinio palyginimo (subjektyvus reikšmingumas)	27	33	3	3	20	14

Šaltinis: sudaryta autorių

Racionalaus fasadų šiltinimo sistemos sprendinio nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą. Taikant šį metodą (Zavadskas ir kt., 2001; 232-235, Medelienė, 2011; 90-91), racionalus šiltinimo sistemos sprendinys nustatomas tokia seka: 1- naudojant tyrimo duomenis (žiūr. 1 lentelę), sudaroma pradinė duomenų matrica P, nustatomas kriterijų optimalumas ir surandama geriausia reikšmė (žiūr. 3 lentelę); 2- atliekamas pradinė duomenų matricos P normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą $\bar{P}$ (žiūr. 4 lentelę); 3- pasirenkama vertinimo skalė ir nustatomas kriterijų naudingumas; 4- sudaromos svertinės matricos, apskaičiuojamas kriterijų naudingumas, kai įvertinami apskaičiuoti reikšmingumai (žiūr. 5 lentelę); 5- nustatomas racionalus sprendinys (žiūr. 6 pav.).

3 lentelė

Pradiniai duomenys skaičiavimui optimalios ir normalizuotos reikšmės

Kriterijai	Variantai						Matrica P
	A1	A2	A3	A4	A5	Kriterijų optimalumas	Geriausia reikšmė
K ₁	29,30	49,92	31,14	40,33	2,78	min	2,78
K ₂	0,035	0,036	0,035	0,022	0,035	min	0,022
K ₃	0,32	0,33	0,32	0,20	0,32	min	0,20
K ₄	4,125	3,833	3,7	3,275	3,275	min	3,275
K ₅	15	25	30	50	55	max	55
K ₆	2	1	3	3	2	max	3

Šaltinis: sudaryta autorių

4 lentelė

Normalizuotos bedimensinės kriterijų reikšmės

Kriterijai	Variantai					Matrica $\bar{P}$
	A1	A2	A3	A4	A5	
K ₁	0,094	0,055	0,089	0,068	1,000	
K ₂	0,628	0,611	0,628	1,000	0,628	
K ₃	0,625	0,606	0,625	1,000	0,625	
K ₄	0,793	0,854	0,885	1,000	0,879	
K ₅	0,27	0,450	0,540	0,900	1,000	
K ₆	0,67	0,330	1	1,000	0,670	

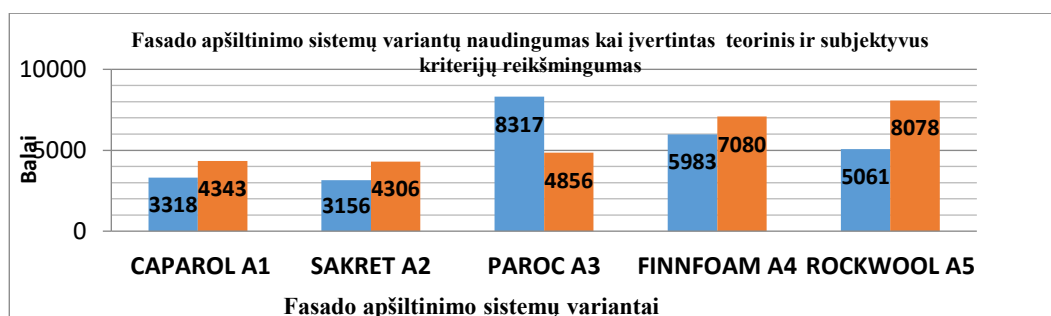
Šaltinis: sudaryta autorių

5 lentelė

Svertinės matricos, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumai

$\bar{q}_i$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$					$\bar{q}_i$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$				
	A1	A2	A3	A4	A5		A1	A2	A3	A4	A5
41,4	373	290	4140	373	248	30	270	180	270	210	3000
6,4	403	390	403	640	403	27	1701	1647	1701	2700	1701
6,4	403	384	403	640	403	20	1260	1200	1260	2000	1260
5,4	432	459	481	540	475	7	560	595	623	700	616
25	675	1125	1350	2250	2500	13	351	585	702	1170	1300
15,4	1032	508	1540	1540	1032	3	201	99	300	300	201
Σ	3318	3156	8317	5983	5061		4343	4306	4856	7080	8078

Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Sertifikuotų fasado apšiltinimo sistemų naudingumas, kai įvertintas kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados ir rekomendacijos

1. Atlikus daugiakriterinį fasado šiltinimo sistemų variantų vertinimą ir įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai buvo medžiagos šilumos laidumas (K2), kaina (K1) ir ilgaamžiškumas (K5), nustatytas racionalus išorinės sienos šiltinimo sistemos variantas – sertifikuota ROCKWOOL sistema.

2. Atlikus daugiakriterinį fasado apšiltinimo sistemų variantų vertinimą ir įvertinus teorinį kriterijų reikšmingumą, kur svarbiausi kriterijai buvo kaina (K1), ilgaamžiškumas (K5) ir degumas (K6) nustatytas racionalus išorinės sienos šiltinimo sistemos variantas- PAROC šiltinimo sistema.

3. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai parodė, kad įvertinus skirtingus kriterijų reikšmingumus gauti du racionalūs išorinių fasado sienų apšiltinimo sprendiniai: ROCKWOOL ventiliuojamo fasado sistema ir PAROC tinkuojamo fasado sistema. Priklausomai nuo to, kuriam fasadui- ventiliuojamam ar tinkuojamam užsakovas teikia pirmumą, kaip projektinius sprendinius specialios paskirties pastatui galima siūlyti abu išorinės sienos šiltinimo sistemų variantus.

Literatūra

1. ADLIMINA statybinės medžiagos – Caparol sistemos [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 13]. Prieiga per internetą: <https://www.adlimina.lt/apsiltinimo-medziagos/fasadu-siltinimo-sistemas/caparol-sistemas/>
2. Ališauskas. A. Šilumos izoliacinių medžiagų pasirinkimo analizė A++ gyvenamojo namo šildymo ir vėdinimo sistemų projektavimui.- Alytaus kolegija, leidinys „Aukštojo mokslo vaidmuo visuomenėje“ (Studentų taikomieji tyrimai. Mokslo darbai), 2021, p. 6-13.
3. Darbo, medžiagų ir mechanizmų sąnaudų statyboje normatyvai. Rinkinys R62P. Pastatų atnaujinimo (modernizavimo) darbai.-Vilnius, Sistela, 2013.
4. Fasadų šiltinimo sistemų SAKRET ETICS projektavimo ir montavimo instrukcija [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 13]. Prieiga per internetą: <https://sakret.lt/wp-content/uploads/2020/10/Fasadu-siltinimo-sistemu-SAKRET-ETICS-projektavimo-ir-montavimo-instrukcija.pdf>
5. FINNFOAM ventiliuojami fasadai [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 13]. Prieiga per internetą: <https://finnfoam.lt/sprendimai/sienu-siltinimas/ventiliuojami-fasadai/>
6. Ilgalaikiai fasadų šiltinimo sprendimai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 09 09]. Prieiga per internetą: https://www.ekspertai.lt/putu-polistirolas/straipsniai/ilgalaikiai_fasadu_siltinimo_sprendimai
7. Medelienė V. Pramoninių betoninių grindų dangų gyvavimo proceso kompleksinė analizė ir jų efektyvus sprendimas. Daktaro disertacija.- Kaunas: Technologija, 2011, p. 149.
8. Medelienė V. Pramoninių betoninių grindų dangų gyvavimo proceso kompleksinė analizė ir jų efektyvus sprendimas (daktaro disertacija). – Kaunas, 2011, 151 p.
9. PAROC tinkuojamos sienos [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 13]. Prieiga per internetą: <https://www.paroc.lt/applications/building-insulation/walls/thin-rendering>
10. Raicevičius L. Tinkuojamo ir vėdinamojo fasado lyginamasis tyrimas (magistro baigiamasis darbas). – Kauno technologijos universitetas, 2018, 54p.
11. ROCKWOOL fasadų izoliacija [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 13]. Prieiga per internetą: <https://www.rockwool.com/lt/gaminiai-ir-panaudojimas/fasadu-izoliacija/>
12. ROCKWOOL saugumas – euroklase [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: <https://www.rockwool.com/lt/patarimai-ir-Informacija/kodel-rockwool/saugumas/euroklase/>
13. Vėdinamos fasadų šiltinimo sistemos nuo šiol- tik su nacionaliniais arba europiniais techniniais įvertinimais. [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 11 10]. Prieiga per internetą: <https://sa.lt/vedinamos-fasadu-siltinimo-sistemas-nuo-siol-tik-su-nacionaliniais-arba-europiniais-ivertinimais/>
14. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
15. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
16. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Turskis Z., Tamošaitienė J. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals.- *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2), 2008, p.85-93.
17. Zavadskas E.,K., Simanauškas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.
18. Zavadskas E.,K., Simanauškas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.

ANALYSIS OF HEATING SYSTEM SOLUTIONS FOR SPECIAL PURPOSE BUILDINGS FACADES

Summary

Facade insulation is a specialized field of construction that allows you to significantly reduce heating costs, avoid the formation of condensate in the internal structures of the building and achieve good sound insulation. The number of

certified facade insulation systems offered on the Lithuanian market is increasing. The choice of the heating and finishing system of the building is not only an aesthetic decision - it also depends on the internal microclimate of the building, as well as the complexity of its operation, thermal characteristics, tightness and aesthetic appearance. When deciding which facade insulation system to choose, many evaluation aspects are analyzed, according to which priorities are set. This is a complex and confusing task for designers.

The aim of this study is to analyze the certified facade insulation systems offered to the Lithuanian market and to determine a rational solution for a special purpose building.

The article presents a detailed analysis of certified facade warming systems, a system of evaluation indicators and a multi-objective evaluation of their variants, using a multi-criteria utility value method. The evaluation results made it possible to determine a rational version of the certified facade warming system, which was later used in the special purpose building project.

Key words: certified facade warming systems, evaluation criteria, theoretical significance, subjective significance, utility value method, rational solution.

SPORTO SALĖS STOGO LAIKANČIOS KONSTRUKCIJOS – SANTVAROS PARINKIMAS IR VERTINIMAS

Airidas Bliuvas, Birutė Požėrienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Projektuojama sporto salė turi būti patogi, erdvi, ji turi atitikti šiluminės izoliacijos, garso izoliacinius, stiprumo, pastovumo, saugumo reikalavimus.

Renkantis konstrukcijas pirmiausia reikėtų atsižvelgti į sportininkų saugumą, o po to tik į eksploatacines savybes ar finansus.

Santvaros leidžia sumažinti darbo sąnaudas, plačiai naudoti mechanizmus, užtikrinti aukštą darbų kokybę. Laikančių konstrukcijų įrengimo laikas sutrumpėja nuo 6 iki 10 kartų.

Reikšmingi žodžiai: metalinės, medinės, gelžbetoninės santvaros, stogo laikančioji konstrukcija, daugiakriterinis verės naudingumo metodas.

Ivadas

Sportas yra viena iš populiariausių veiklos sričių pasaulyje. Šioje srityje yra be galo daug sporto šakų. Daugiau kaip 60% žmonių turinčių sporto salės abonimentą, nori erdvios salės, naujų patalpų, naujos įrangos. Projektuojama sporto salė turi būti patogi, erdvi, ji turi atitikti šiluminės izoliacijos, garso izoliacinius, stiprumo, pastovumo, saugumo reikalavimus. Pastatas skirtas visiems, jauniems, seniems, vyrams, moterims, vaikams

Renkantis konstrukcijas pirmiausia reikėtų atsižvelgti į sportininkų saugumą, o po to tik į eksploatacines savybes ar finansus.

Svarbiausia stogo laikančioji konstrukcija yra santvara. Santvaros konstrukcija labiausia pritaikyta atlaikyti ašines jėgas, dažniausia naudojamos kur yra didelis atstumas tarp atraminių taškų (tarpatramių). Šių konstrukcijų standumas yra didelis, o jų svoris sąlyginai mažas.

Šiandieniniam verslui ir pramonei svarbu būti tvariems ir mažinti neigiamą ekologinę įtaką. Santvaros yra daugkartinio naudojimo, todėl atsiranda perdirbimo galimybės, leidžiančios sumažinti atliekų kiekį ir išsaugoti gamtos išteklius. Tinkamai parinkti gaminiai yra ilgaamžiai, todėl sumažinamas naujų medžiagų poreikis.

Santvaros leidžia sumažinti darbo sąnaudas, plačiai naudoti mechanizmus, užtikrinti aukštą darbų kokybę. Laikančių konstrukcijų įrengimo laikas sutrumpėja nuo 6 iki 10 kartų.

Tyrimo tikslas- sporto salės stogo laikančios konstrukcijos – santvaros parinkimas ir vertinimas **Tyrimo uždaviniai :**

- Atlikti rinkoje siūlomų santvarų analizę.
- Atlikti salės stogo laikančios konstrukcijos – santvaros - vertinimą ir parinkti racionalų sprendimą

Tyrimo metodai:

- Analizės metodas taikomas, parenkant salės stogo santvaros inžinerinius sprendimus
- Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas taikomas nustatyti racionaliam sprendimui.

Lietuvoje per paskutinius dešimtmečius pastatyta daug gyvenamosios, visuomeninės, gamybinės paskirties pastatų, kuriems reikalingi skirtingi energetiniai ištekliai, skirtingos mikroklimato sąlygos viduje, skirtingas įrengimo technologijas ir t.t. Visa tai priklauso nuo pastato konstrukcijoje suprojektuotų elementų: pamatų, sienų, stogo, atitvarų, grindų, langų, durų, apdailos ir kitų. Konstrukcinių elementų alternatyvų, kurias gali pasirinkti statytojas, yra daug ir labai įvairių. Daugeliu atvejų tos pačios paskirties konstrukciniai elementai gali būti pagaminti ir iš skirtingų medžiagų. Dėl gausios statybinių medžiagų ir konstrukcijų įvairovės, didėjančių statytojų poreikių, besiplečiančios nekilnojamojo turto rinkos reikalingas naujas požiūris į racionalių inžinerinių sprendinių priėmimą, atsižvelgiant ne vien tik į ekonominius, bet ir į techninius, technologinius, ekologinius, ergonominius, estetinius ir kt. kriterijus. Tam reikalingas gilesnis pastatų ir jų konstrukcijų pažinimas bei naujų vertinimo metodų įsisavinimas. Praktikoje racionaliausią sprendimą nustatyti yra pakankamai sunku, nes nei vieno iš jų negalima aprašyti ar išreikšti vienu vertinimo aspektu.. Pastaruoju metu socialinių ir ekonominių reiškinių, sudėtingų procesų kiekybiniam vertinimui vis plačiau taikomi daugiakriteriniai metodai. Pasaulyje sukurta dešimtys daugiakriterinių metodų, kurie vienas nuo kito skiriasi savo logika, sudėtingumu, specifika, ypatumu. Paprastose situacijose gali pasirodyti, kad sprendinius priimti be šių metodų pagalbos yra pigiau. Tačiau kai situacijos yra sudėtingesnės, kai reikia priimti daug ir sudėtingų sprendimų, šie metodai tampa tikrai labai naudingais.. Taikant daugiakriterinius alternatyvaus projektavimo ir daugiakriterinio įvertinimo metodus, galima išspręsti siekiamų tikslų ir šiems tikslams įgyvendinti reikalingų išteklių optimizacijos uždavinį: išanalizavus galimus alternatyvius

projektuojamo pastato inžinerinius sprendinius, nustatomas racionaliausias šio proceso dalyvių (suinteresuotų grupių) siekiamų tikslų ir galimybių derinys. V. Medelienė (2019), metodiniai nurodymai.

Literatūros analizė

Medinės stogo santvaros yra gamybos ceche pagamintos konstrukcijos, kurios sujungiamos tarpusavyje specialiomis perforuoto plieno dantytomis plokštelėmis. Tokiu būdu įrengiama tvirta stogo konstrukcija, taupanti medžiagas ir maksimaliai išnaudojanti panaudotų medžiagų laikančiąją galią.

Gamindami stogo santvaras, pirmiausia jas suprojektuoja specialia kompiuterine stogo konstrukcijų projektavimo programa „RoofCon“. Vėliau mediniai stogo konstrukcijos elementai surenkami gamybos ceche. Atvežus į statybos vietą stogas baigiamas montuoti ant pastato. Tokia stogų dengimo technologija savo kokybe ir ekonomišku pralenkia įprastus gegnių stogus. Medinės stogo konstrukcijos puikiai tinka ne tik mažiems, bet ir itin didelių gabaritų pastatams. Santvarų konstrukcijos elementų pjaustomui naudojami moderni gamybos technologija ir panaudojant šiuolaikišką įrangą CNC stakles **Hundegger Speed Cut3**. Tai leidžia medieną supjaustyti milimetrų tikslumu. Dažnas klausimas dėl medinių konstrukcijų naudojimo yra konstrukcijų priešgaisrinė sauga. Naudojant medines santvaras jos iš karto gali būti impregnuotos antipireniais ir pasiekti B-s2, d0 degumo klasę. Tokios degumo klasės pakanka visų tipų pastatams skirstomiems pagal atsparumo ugniai laipsnį. (Eko santvaros, 2023)

Lam F (2001: 238 -245) teigia, kad inžineriniai medienos gaminiai yra konstrukciniai kompozitai, sulaukę sėkmės statybos pramonėje. Šių gaminių mechaninės ir fizinės savybės priklauso nuo sąveikaujančių ryšių tarp išteklių kokybės, gamybos proceso ir pritaikymo būdų. Apskritai jų mechaninės savybės yra vienos, palyginti su vientisa pjautine medžiaga; taigi inžineriniame projekte yra didesnės leistinos savybės. Šiame darbe apžvelgiami kai kurių pagrindinių inžinerinių medienos gaminių, įskaitant klijuotą sluoksninę medieną, lygiagrečią medieną, laminuotą sruogą, laminuotą faneruotą medieną ir storą orientuotą medienos drožlių plokštę / apvadą, gamybos procesai, struktūrinės savybės, fizinės savybės ir bendri pritaikymai. (Sathre R, 2014: 311-337)

Pagal gamintojus (Pramonės metalo konstrukcijos, 2023) metalinės santvaros yra konstrukcijos, kurios pagrindiniai, horizontalūs profiliai yra tarpusavyje susieti tinkleliu kitų profilių pagalba. Paprastai santvaros yra trikampės formos erdvinė struktūra. Santvaros konstrukcija labiausiai pritaikyta atlaikyti ašines jėgas, dažniausia naudojamos kur yra didelis atstumas tarp atraminių taškų (tarpatramių). Šių konstrukcijų standumas yra didelis, o jų svoris sąlyginai mažas.

1. Sporto salės stogo laikančios konstrukcijos- santvaros analizė

Siekiant nustatyti racionalų sporto salės denginio variantą, analizuojami trys alternatyvūs santvarų sprendimai: Metalinės santvaros (A1); Gelžbetoninės santvaros (A2); Medinės santvaros (A3). Šios santvaros įrengiamos ant vienodų gelžbetoninių kolonų. Jų įvertinimui naudojamas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas. Įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, taikant ekspertinius rangavimo ir porinio palyginimo metodus.

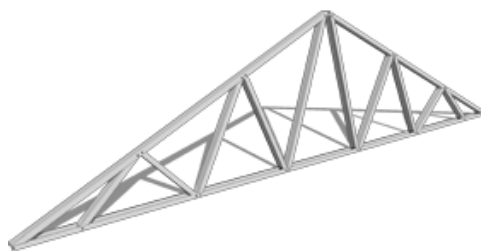
Metalinės santvaros (A1). Metalinių konstrukcijų medžiaga – plienas – yra stipri ir patvari. Dėl aukštos plieno proporcingumo ribos plieninės konstrukcijos dirbdamos deformuojasi tiesiškai, todėl, jas skaičiuojant, taikomi tikslūs tiesiškai deformuojamų sistemų skaičiavimo metodai, tiksliai parenkami konstrukciniai elementai. Plieninių konstrukcijų darbas yra aiškus, pačios konstrukcijos patikimos. Kadangi plienas yra vienodos struktūros, galima visiškai išnaudoti jo stiprumą. Konstrukcijų lengvumas geriausiai įvertinamas santykiu, kuris nurodo konstrukcijos iš atitinkamos medžiagos didžiausią galimą aukštį. Iš šio santykio matyti, kad metalinės konstrukcijos yra lengviausios. Lengvesnėms konstrukcijoms reikia mažiau medžiagų, mažesnių transportavimo išlaidų, jas lengviau montuoti. Metalinių konstrukcijų elementus lengva pagaminti fabrikuose mechanizuotai, o statybos vietoje juos sumontuoti. Industrinė statyba yra ekonomiškai, pigi ir greitai. Metalinės konstrukcijos (taisyklingai jas eksploatuojant) yra ilgaamžės. Kadangi metalinės konstrukcijos lengvos ir jų elementai įvairūs, tai jas galima komponuoti taip, kad visas pastatas, jo interjeras geriausiai atitiktų estetinius reikalavimus. (Pramonės metalo konstrukcijų, 2023)

1 lentelė

Variantų techniniai rodikliai

Rodiklis	Kaina, vnt. (K1)	Svoris, kg/m (K2)	Darbo sąnaudos, žm. val. (K3)	Ilgamžiškumas, (metais), (K4)	Montavimo greitis, (dienomis), (K5)	Atsparumas ugniui (K6)
Skaitinės vertės	1245	112	15	80-90	1,15	1

Šaltinis: Stogo, <http://www.pmkonstrukcijos.lt/>



1 pav. Metalinė santvara

Šaltinis: Stogo, <http://www.pmkonstrukcijos.lt/>

Medinės santvaros (A2). Šios konstrukcijos yra lengvos, montuojamos labai sparčiai be kėlimo technikos. Jos geros kokybės, nes pagaminamos gamykloje. Lyginant su tradicinėmis gegnėmis, galima sutaupyti iki 20 % medienos. Santvaros su dygliuotų plokštelių jungtimis tinka statant visuomeninius pastatus, sandėlius, parduotuves, individualius gyvenamuosius namus, rekonstruojant senas palėpes ir panašiai. Vieno tipo santvara suprojektuojama per dieną. Užsakovas labai tiksliai sužino, kiek reikės medienos, kiek ji kainuos, kaip atrodys jo pastato stogas. (Eko santvaros, 2023)

2 lentelė

Varianto techniniai rodikliai

Rodiklis	Kaina, vnt. (K1)	Svoris, kg/m (K2)	Darbo sąnaudos, žm. val. (K3)	Ilgamžiškumas, (metais), (K4)	Montavimo greitis, (dienomis), (K5)	Atsparumas ugniai (K6)
Skaitinės vertės	1005	80	7,10	70-80	0,88	3

Šaltinis: Eko santvaros, <http://www.ekosantvaros.lt/>



2 pav. Medinė santvara

Šaltinis: Eko santvaros, <http://www.ekosantvaros.lt/>

Gelžbetoninės santvaros (A3). Gelžbetoninės santvaros reikalauja mažiau metalo nei metalinės, taip pat atsparios korozijai. Santvaros pagal formą skirstomos į: segmentines, arkinės (jos yra racionalios, spyriuose ir statramsčiuose yra nedidelės įrašos, o juostose jos yra beveik vienodos); trikampės; paspyrinės; su lygiagrečiomis juostomis. Naudojant segmentines ir arkines santvaras yra sudėtinga įrengti stogo dangą. Ties atramomis šių santvarų aukštis yra nedidelis, todėl sumažėja išilginių pastato sienų aukštis. Bespyrės santvaros leidžia geriau išnaudoti erdvę tarp statramsčių, prireikus tarp santvarų įrengti techninį aukštą. Tačiau šių santvarų juostose ir statramsčiuose išorinės apkrovos sukelia didelius lenkimo momentus. Naudojant santvaras su lygiagrečiomis juostomis stogai yra plokšti ir juos įrengti yra nesudėtinga. Tačiau santvarų aukštis ties atramomis yra didelis, todėl tarp santvarų reikia įrengti vertikaliuosius ryšius. (Kauno gelžbetonis, 2023)

3 lentelė

Varianto techniniai rodikliai

Rodiklis	Kaina, vnt. (K1)	Svoris, kg/m (K2)	Darbo sąnaudos, žm. val. (K3)	Ilgamžiškumas, (metais), (K4)	Montavimo greitis, (dienomis), (K5)	Atsparumas ugniai, (K6)
Skaitinės vertės	1500	189	8,0	80-90	1	2

Šaltinis: (Kauno gelžbetonis... prieiga per internetą <http://www.kaunogelzbetonis.lt/>,



3 pav. Gelžbetoninė santvara

Šaltinis: Kauno gelžbetonis, <http://www.kaunogelzbetonis.lt/>

2. Sporto salės stogo laikančios konstrukcijos sprendimų vertinimas

Statybos inžinerinių sprendimų vertinimui dažniausiai naudojami vienkriteriniai, daugiakriteriniai, ekonominio efektyvumo įvertinimo metodai. Konstrukciniai sprendimai dažniausiai vertinami naudojant vienkriterinius sąmatinių ekonominių skaičiavimų metodus, t.y. sprendimus palyginant pagal atskirus kriterijus. Tačiau realiai kiekvienas statybos projekto konstrukcinis sprendimas turi kelis ar net keliolika vertinimo aspektų. Todėl naudojant vienkriterinius vertinimo metodus, sunku nustatyti racionalų sprendimą, maksimaliai tenkinantį visus reikalavimus. Tam geriausiai tinka daugiakriteriniai metodai, kurie leidžia įvertinti inžinerinius sprendimus pagal pasirinktą vertinimo kriterijų sistemą ir šių kriterijų reikšmingumą (Kauno gelžbetonis, 2023). Darbe stogo konstrukcijų sprendimams vertinti pasirinktas daugiakriterinis naudingumo vertės metodas, o kriterijų reikšmingumui nustatyti naudojami ekspertiniai metodai.

Vertinimo kriterijų sistemos parinkimas ir jų reikšmių skaičiavimas. Sporto salėms įrengti dažniausiai daromos aukštesnės lubos, kad būtų galima ištiesti rankas į viršų ar pašokti ir taip nepaliesti lubų. Atsižvelgiant į tai stogo konstrukcijų sprendimų vertinimui sudaryta tokia vertinimo kriterijų sistema:

Kaina, vnt (K1) - tai kriterijus, parodantis vienos santvaros kainą. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimitos, remiantis gamintojų informacija. Buvo susiskambinta telefonų ir paklausta gamintojų.

Svoris, kg/m (K2) – tai kriterijus, parodantis santvaros svorį 1m. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimitos, remiantis gamintojų informacija.

Darbo sąnaudos, žm. val. (K3) - tai kriterijus, parodantis darbo sąnaudas, reikalingas 18m. santvaros įrengimui. Kriterijaus skaitinės reikšmės nustatytos, remiantis gamybiniais normatyvais, N9P-0105, N10P-0303, N7P-0303.

Ilgamžiškumas, (metais), (K4) – tai kriterijus, parodantis santvaros kokybės laiko susidėvėjimą metais. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimitos, remiantis gamintojų informacija.

Montavimo greitis, (dienomis), (K5) – tai kriterijus, parodantis santvaros montavimo greitį, per kiek laiko sumontuojamą. Kriterijaus skaitinės reikšmės nustatytos, remiantis gamybiniais normatyvais. N9P-0105, N10P-0303, N7P-0303.

Atsparumas ugniai, (K6) – tai kriterijus, parodantis santvaros atsparumą ugniai, 1 – reiškia nedegi, 2 – degi, 3 – labai degi. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimitos, remiantis gamintojų informacija.

Tyrimo metu nustatytos kriterijų skaitinės reikšmės pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė

Kriterijų skaitinės reikšmės

Kriterijai Variantai	Kaina, vnt. (K1)	Svoris, kg/m (K2)	Darbo sąnaudos, žm. val. (K3)	Ilgamžiškumas, (metais), (K4)	Montavimo greitis, (dienomis), (K5)	Atsparumas ugniui, (K6)
Metalinė santvara (A1)	1245	112	15	80-90	1,15	1
Medinė santvara (A2)	1005	80	7,10	70-80	0,88	3
Gelžbetoninė santvara (A3)	1500	189	8,0	80-90	1	2

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vertinimo kriterijų reikšmės reikšmingumo skaitinės reikšmės. Skaičiavimas atliekamas tokia seka:

1. Paruošiami duomenys skaičiavimui, sudarant pradinių duomenų matricą P (žr. 5 lentelė).

5 lentelė

Pradiniai duomenys skaičiavimui

Matrica P						
Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	1245	112	15	85	1,15	1
A2	1005	80	7,10	75	0,88	3
A3	1500	189	8,0	85	1	2
ΣX_{ij}	3750	381	30,1	245	3,03	6

Šaltinis: sudaryta autoriaus

2. Atliekamas pradinių duomenų matricos normalizavimas į bedimensinių dydžių matricą $\bar{P}$. Normalizavimas atliekamas pagal formulę:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\Sigma X_{ij}}; \quad (1)$$

čia X_{ij} – normalizuojamas matricos P narys; ΣX_{ij} – stulpelio, kuriame yra normalizuojamas narys, suma

Normalizuotos reikšmės surašomos į normalizuotą matricą $\bar{P}$ 6 lentelė:

6 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės

Matrica $\bar{P}$						
Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0,332	0,294	0,498	0,350	0,380	0,167
A2	0,268	0,210	0,236	0,306	0,290	0,500
A3	0,400	0,496	0,266	0,350	0,330	0,333

Šaltinis: sudaryta autoriaus

1. Nustatomas kiekvieno kriterijaus entropijos lygis E_j pagal formules 2,3.

$$E_j = -k \Sigma \bar{p}_{ij} \cdot \ln \bar{p}_{ij}; \quad (2)$$

čia p_{ij} – normalizuotos matricos narys; m – nagrinėjamų alternatyvių sprendimų skaičius.

$$k = \frac{1}{\ln m}; \quad (3)$$

$$E_1 = -0.621 (0,332 \ln 0,332 + 0,268 \ln 0,268 + 0,400 \ln 0,400) = 0,6740;$$

$$E_2 = 0.6430; \quad E_5 = 0.6785;$$

$$E_3 = 0.6460; \quad E_6 = 0.6282;$$

$$E_4 = 0.6814;$$

2. Nustatomas kiekvieno kriterijaus rodiklio kitimo lygis $\bar{d}$ pagal formulę 4.

$$\bar{d}_j = 1 - E_j; \quad (4)$$

čia E_j – kiekvieno kriterijaus entropijos lygis;

$$d_1 = 1 - 0,6740 = 0,3260;$$

$$d_2 = 1 - 0,6430 = 0,3570;$$

$$d_3 = 1 - 0,6460 = 0,3540;$$

$$d_4 = 1 - 0,6814 = 0,3186;$$

$$d_5 = 1 - 0,6785 = 0,3215;$$

$$d_6 = 1 - 0,6282 = 0,3718;$$

$$\Sigma d = 2,0489$$

3. Nustatomas teorinis kriterijų reikšmingumas $\bar{q}_{j(t)}$ pagal formulę 5.

$$\bar{q}_{j(t)} = \frac{\bar{d}_j}{\sum \bar{d}_j}; \quad (5)$$

čia $\sum d_{ij}$ – visų rodiklių kitimo lygių suma;

$$Q_1 = \frac{0,3260}{2,0489} = 0,15911; (15,9\%)$$

$$q_2 = 0,1742; (17,4\%)$$

$$q_3 = 0,1728; (17,3\%)$$

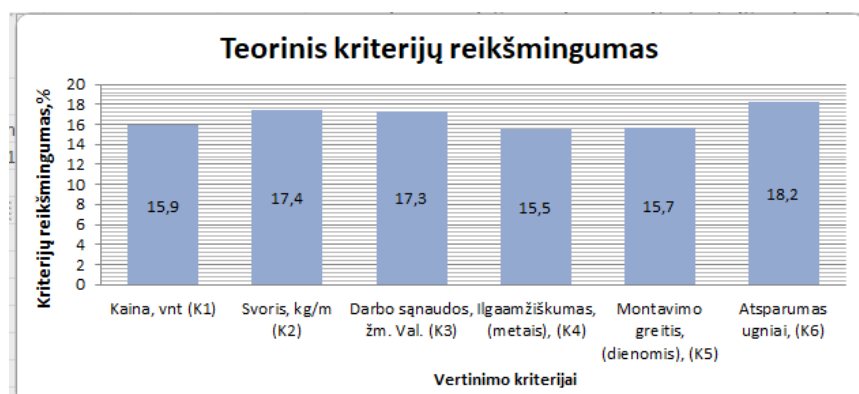
$$q_4 = 0,1555; (15,5\%)$$

$$q_5 = 0,1569; (15,7\%)$$

$$q_6 = 0,1815; (18,2\%)$$

Kriterijų prioritetų eilutė: **K6>K2>K3>K1>K5>K4**

Grafiniai kriterijų reikšmingumo duomenys pateikti 4 paveiksle.



4 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant teorinį entropijos metodą

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Skaiciavimo rezultatai parodė, kad didžiausią teorinį reikšmingumą turi atsparumas ugniai kriterijus (K6), kurio teorinis reikšmingumas 18,2%, antras pagal svarbą kriterijus svoris kg/m (K2), kurio reikšmingumas 17,4%, pakankamai svarbus darbo sąnaudos žm. val. kriterijus (K3), kurio reikšmingumas 17,3% ir kaina, vnt. kriterijus (K1), kurio teorinis reikšmingumas- 15,9%. Montavimo greitis (dienomis) (K5), ilgaamžiškumas (metais) (K4), šiuo atveju yra mažai reikšmingi.

Vertinimo kriterijų reikšmingumo nustatymas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą . Ekspertinis porinio palyginimo metodas leidžia nustatyti kriterijų reikšmingumą atsižvelgiant į subjektyvią suinteresuotų grupių nuomonę. Subjektyvios nuomonės kriterijų prioritetų eilutei sudaryti naudotas organoleptinis metodas (eilutė sudaryta, remiantis surinkta informacija iš tyrėjų). Sudaryta tokia kriterijų prioritetų eilutė: **K6>K2>K3>K1>K5>K4**. Pagal sudarytą eilutę kriterijai lyginami poromis, svarbesniam kriterijui skiriant 2 balus, atitinkamai mažiau svarbiam- 0 balų. Jei kriterijai vienodai svarbūs, jiems skiriama po vieną balą.

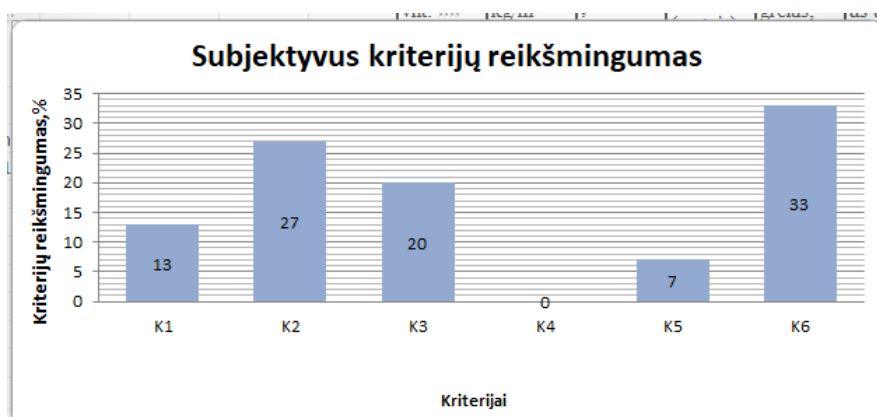
7 lentelė

Kriterijų subjektyvus reikšmingumas

Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Balai	q_i	%
K1	x	0	0	2	2	0	4	0,13	13
K2	2	x	2	2	2	0	8	0,27	27
K3	2	0	x	2	2	0	6	0,2	20
K4	0	0	0	x	0	0	0	0	0
K5	0	0	0	2	x	0	2	0,070	7
K6	2	2	2	2	2	x	10	0,33	33
Σ							30	1,0	100

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Grafiškai pavaizduoti rezultatai pateikti 5 paveiksle.



5 pav. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas nustatytas taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą.

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Skaičiavimo rezultatai parodė, kad didžiausią subjektyvų reikšmingumą turi atsparumas ugniai (K6)- 33%, pakankamai svarbūs, antras pagal svarbumą yra svoris kg/m (K2) – 27%. Trečias pagal svarbumą yra Darbo sąnaudos, žm. val. (K3) – 20%. Ketvirtas pagal svarbumą yra Kaina vnt. (K1) – 13%. O ilgaamžiškumas (K4) – 0% kriterijų svarbą nedidelė.

Racionalaus sporto salės stogo konstrukcijos sprendimo nustatymas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą. Taikant šį metodą racionalus inžinerinis sprendimas nustatomas, tokia seka:

1. Remiantis 5-oje lentelėje pateiktais skaičiavimo rezultatais sudaroma pradinė duomenų matrica P, nustatomas kriterijų optimalumas ir surandama geriausia reikšmė. Duomenys surašomi į 8 lentelę

8 lentelė

Pradiniai duomenys skaičiavimui ir optimalios reikšmės

Matrica P					
Variantai Kriterijai	A1	A2	A3	Kriterijų optimalumas	Geriausia reikšmė
K1	1245	1005	1500	min	1005
K2	112	80	189	min	80
K3	15	7,10	8,0	min	7,10
K4	85	75	85	max	85
K5	1,15	0,88	1	max	1,15
K6	1	3	2	min	1

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Atliekamas pradinė duomenų matricos P normalizavimas į matricą $\bar{P}$;

Maksimizuojami kriterijai normalizuojami pagal formulę (6):

$$\bar{P}_{i-j} = \frac{x_{i-j}}{\max_{i-j}} \quad (6)$$

čia x_{ij} – normalizuojamo kriterijaus reikšmė; $\max x_{ij}$ - optimali kriterijaus reikšmė;

Minimizuojami kriterijai normalizuojami pagal 7 formulę:

$$\bar{P}_{i-j} = \frac{\min_{i-j}}{x_{i-j}} \quad (7)$$

čia x_{ij} – normalizuojamo kriterijaus reikšmė; $\min x_{ij}$ - optimali kriterijaus reikšmė.

Rezultatai surašomi į normalizuotą matricą $\bar{P}$ (žr. 9 lentelė).

9 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės

Variantai Kriterijai	A1	A2	A3
K1	0,807	1	0,670
K2	0,714	1	0,423

Variantai Kriterijai	A1	A2	A3
K3	0,473	1	0,889
K4	1	0,882	1
K5	1	0,765	0,870
K6	1	0,333	0,500

Šaltinis: sudaryta autoriaus

2. Pasirenkama vertinimo skalė [0;100] ir didžiausiai normalizuotos matricos kriterijaus reikšmei (10 lentelė) priskiriama maksimali vertinimo skalės reikšmė. Pvz.: $1 \rightarrow 100$. Kitos normalizuotos kriterijų reikšmės apskaičiuojamos pagal proporciją. Gauti rezultatai surašomi į kriterijų naudingumo matricą C_{ij} (žr. 10 lentelė). Sumuojami kiekvieno kriterijaus surinkti balai, ir užrašoma inžinerinių sprendimų prioritetų eilutė. Geriausias inžinerinis sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. surenka didžiausią balų sumą

10 lentelė

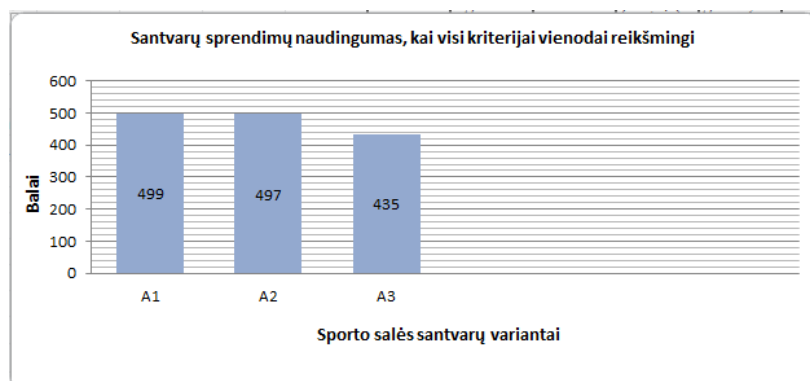
Kriterijų naudingumas (balais)

Variantai Kriterijai	A1	A2	A3
K1	81	100	67
K2	71	100	42
K3	47	100	89
K4	100	88	100
K5	100	76	87
K6	100	33	50
Σ	499	497	435

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Remiantis skaičiavimo rezultatais, sudaroma sporto salės dangų sprendimų prioritetų eilutė ir rezultatai pateikiami grafiškai (žr. 3 paveiksle.):

$A1 > A2 > A3$



6 pav. Sporto salės santvarų sprendimų naudingumas, kai neįvertintas kriterijų reikšmingumas Šaltinis: sudaryta autoriaus

3. Apskaičiuojamos kriterijų vertės balais, įvertinant teorinį ir subjektyvų kriterijų reikšmingumus. Tam tikslui kiekviena kriterijaus naudingumo reikšmė (žr. 11 lentelė) dauginama iš kriterijaus reikšmingumo. Sudaromos naujos matricos $\bar{C} * \bar{q}$ ir $\bar{C} * \bar{q}_t$ (žr. 11 lentelė).

11 lentelė

Kriterijų naudingumas, įvertinus teorinį ir subjektyvų reikšmingumą

$\bar{q}_t$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}_t$			$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
15,9	1288	1590	1065	13	1053	1300	871
17,4	1235	1740	731	27	1917	2700	1134
17,3	813	1730	1540	20	940	2000	1780
15,5	1550	1364	1550	0	0	0	0

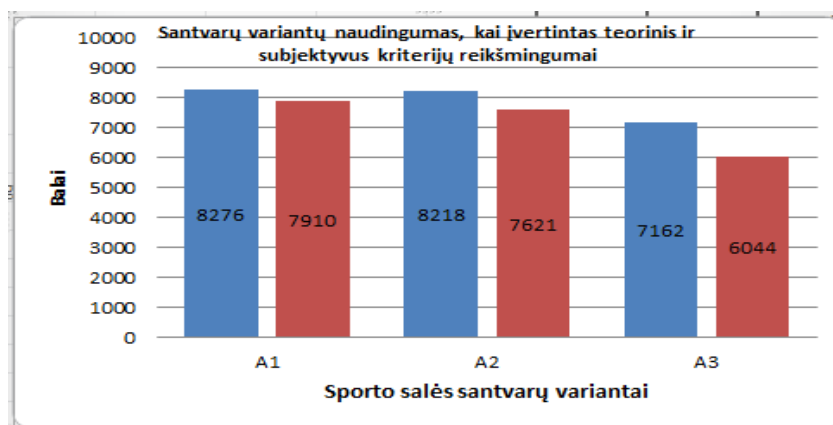
$\bar{q}_t$, %	Matrica			$\bar{q}$, %	Matrica $\bar{C} * \bar{q}$		
	$\bar{C} * \bar{q}_t$						
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
15,7	1570	1193	1366	7	700	532	609
18,2	1820	601	910	33	3300	1089	1650
Σ	8276	8218	7162		7910	7621	6044

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Sudaromos santvarų variantų prioritetų eilutės ir rezultatai pavaizduojami grafiškai (žr. 7 pav.).

Kai įvertintas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus buvo „Atsparumas ugniai“ gauta tokia sportinių dangų prioritetų eilutė: **A1>A2>A3**

Kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus buvo „Atsparumas ugniai“ gauta tokia sportinių dangų prioritetų eilutė: **A1>A2>A3**



7 pav. Sporto salės santvarų sprendimų naudingumas, kai įvertintas teorinis ir subjektyvus kriterijų reikšmingumas Šaltinis: sudaryta autoriaus

Išvados

1. Siekiant nustatyti racionalų sporto salės denginio variantą, buvo analizuojami trys alternatyvūs santvarų sprendimai: Metalinės santvaros (A1); Gelžbetoninės santvaros (A2); Medinės santvaros (A3).

2. Atlikus daugiakriterinį sporto salės santvarų sprendimų vertinimą nustatyta, kad kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas, racionalus santvarų sprendimas- Metalinės santvaros (A1). Šis sprendimas geriausias ir tuo atveju, kai įvertinamas teorinis kriterijų reikšmingumas, kur svarbiausias kriterijus- atsparumas ugniai. Tačiau atsižvelgiant į užsakovų pageidavimus ir įvertinus subjektyvų kriterijų reikšmingumą, kai svarbiausias kriterijus- atsparumas ugniai, geriausias sporto salės santvaros sprendimas- **metalinės santvaros (A1)**. Kadangi ši santvara taip pat tenkina visus reikalavimus tokio tipo sporto salėms, ji ir siūloma kaip projektinis sprendimas projektuojamai sporto salei.

LITERATŪRA

1. Eko santvaros. (2023). Prieiga per internetą <http://www.ekosantvaros.lt/>.
2. Kauno gelžbetonis. (2023). Prieiga per internetą <http://www.kaunogelzbetonis.lt/>.
3. Lam F (2001) Modern structural wood products. Prog Struct Mat Eng 3(3):238–245. <https://doi.org/10.1002/pse.79>
4. V. Medelienė, metodiniai nurodymai T002B026 Baigiamasis darbas// Kauno technikos kolegija moodle [interaktyvus]. Prieiga per internetą < <https://vma.ktk.lt/course/view.php?id=70>>
5. Pramonės metalo konstrukcijos. (2023). Prieiga per internetą <http://www.pmkonstrukcijos.lt/>.
6. Sathre R, González-García S (2014) Life cycle assessment (LCA) of wood-based building materials. In: Eco-efficient construction and building materials, Elsevier, pp 311–337. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.311>.)

SPORTS HALL ROOF HOLDING STRUCTURES - CHOICE OF TRUSSES

Summary

The designed gym must be comfortable and spacious, it must meet the requirements of thermal insulation, sound insulation, strength, stability, and safety.

When choosing structures, the safety of athletes should be considered first, and only after performance or finances.

Trusses allow to reduce labor costs, widely use mechanisms, and ensure high quality of work. The time of installation of load-bearing structures is reduced by 6 to 10 times.

AUTOSERVISO GRINDŲ DANGŲ PROJEKTTINIŲ SPRENDINIŲ VERTINIMAS

Dainius Ramukevičius, Andrius Vilimas

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Projektuojant transporto aptarnavimo pastatus, vienas iš svarbių elementų pastatuose yra grindų konstrukcijos, jų dangos tipas. Svarbu parinkti tokią grindų dangą, kuri užtikrintų ne tik techninius, technologinius, eksploatacinius, bet ir ergonominius, aplinkosaugos reikalavimus. Grindų estetinė išvaizda, fizikinės ir mechaninės savybės turėtų būti vertinamos kompleksiskai pasirenkant vieną ar kitą grindų dangą. Be to dažnai prie grindų tvirtinama ratų balansavimo įranga, padangų montavimo staklės, keltuvai ir kita serviso įranga. Todėl efektyvių ir praktiškų dangų parinkimas yra pakankamai sudėtingas kompleksinis uždavinys, kuris negali būti sprendžiamas remiantis tik praktiškais žiniomis ar naujų produktų rinkodara.

Straipsnyje pateikiama autoserviso grindų dangų projektinių sprendinių analizė, naudojant daugiakriterinį naudingumo vertės nustatymo metodą. Vertinimo rezultatai leido nustatyti optimalų autoserviso pastato grindų dangos tipą, kuris gali būti panaudotas projektuojant autoserviso pastatus.

Reikšminiai žodžiai: grindų konstrukcija, grindų danga, konstrukcinių sprendimų analizė.

Ivadas

Transporto aptarnavimo pastatų grindų dangos parenkamos su ilgalaikė perspektyva. Netinkamai parinkus grindų dangą, skysčiai gali prasiskverbti ir pakenkti dangai ir grindų konstrukcijai.

Autoserviso pastatas - aplinka, kur nėra didelio žmonių srauto, tačiau purvo, nešvarumų, alyvos ir smūgių poveikio grindims neišvengiama. Todėl renkantis grindų dangas, jų medžiagos estetinė išvaizda, medžiagiškumas, fizikinės ir mechaninės savybės turėtų būti vertinamos kompleksiskai pasirenkant vieną ar kitą grindų dangą. Yra daugybė skirtingų medžiagų, skirtingas savybes ir skirtingą išvaizdą turinčių dangų: nevienodo atsparumo trinčiams, smūgiams, skysčiams, valymo priemonėms.

Parinkant grindis svarbu, kad jos atitiktų patalpos paskirtį, būtų lengvai valomos, prižiūrimos ir atitiktų joms keliamus specialiuosius reikalavimus, poveikius ir aplinkos sąlygas.

Viena iš pagrindinių konstrukcinių medžiagų naudojamų įrengti grindims yra betonas. Europoje daugiau kaip 50% visų įrengiamų grindų yra monolitinės betoninės grindys. Naujų technologijų atsiradimas praplėtė medžiagų panaudojimo dangoms galimybes, suteikiant paviršiams įvairias pageidaujamas savybes, estetinį vaizdą ir tuo pačiu apsaugant grindų betoną nuo korozijos. Tobulėjant naujoms gamybos technologijoms kuriamos naujos dangų medžiagos, grindų dangos įrengiamos naudojant įvairias kompozicines medžiagas.

Grindys turi būti suprojektuotos ir įrengtos iš tokių statybos produktų, kurių savybės per ekonomiškai pagrįstą statinio naudojimo laiką užtikrintų esminius statinio reikalavimus. Reikalavimų įvykdymas turi būti užtikrinamas grindų projektavimo, įrengimo ir naudojimo metu numatomų atitinkamų reikalavimų ir priemonių visuma bei statybos produktų kokybe.

Grindų dangos sprendinio parinkimas autoservisams labai priklauso nuo patalpos paskirties ar atliekamų darbų tipo. Dėl šios priežasties atskirose darbo zonose gali būti skirtingi dangų paviršiai. Kokybiškos grindų dangos padeda išvengti darbuotojams daugybės problemų ir rūpesčių, galinčių kilti dėl transporto priemonių judėjimo, cheminių medžiagų naudojimo, didelės drėgmės ar dulkių poveikio. Nepriklausomai nuo patalpos paskirties ar darbo zonos, grindų danga turi atitikti tokius reikalavimus:

- būti atspari mechaninėms ir smūginėms apkrovoms;
- būti neslidi;
- būti atspari agresyviai cheminei aplinkai;
- turėti ilgą tarnavimo laiką (mažiausiai 15 metų);
- lengvai valytis.

Efektyvaus dangos sprendinio parinkimas yra pakankamai sudėtingas kompleksinis uždavinys, reikalaujantis išsamios vertinimo analizės. Nustatant optimalų grindų dangos sprendimą būtina kompleksiskai analizuoti dangų tipus bei jų savybes.

Darbo tikslas – įvertinti autoserviso grindų dangas naudojant daugiakriterinį naudingumo vertės nustatymo metodą.

Darbo uždaviniai:

- atlikti grindų dangų sprendinių analizę;
- sudaryti vertinimo kriterijų sistemą;
- taikant daugiakriterinio vertinimo metodą, nustatyti grindų dangos optimalų sprendimą.

Literatūros analizė

Projektuojant ir įrengiant grindis, būtina laikytis normatyvinių statybos techninių bei normatyvinių statinio saugos ir paskirties dokumentų, nustatytų reikalavimų, reglamentuojančių konkretaus pastato grindų projektavimą ir įrengimą. Lietuvoje grindų dangų projektavimo (STR 2.05.13:2004), įrengimo ir eksploatacinius reikalavimus reglamentuoja statybos techniniai reglamentai (STR 1.07.03:2017), standartai.

Analizuojant grindų dangų paviršių, mokslininkai išskiria tokius techninius rodiklius: slidumą, atsparumą trinčiai, atsparumą cheminėms medžiagoms, vandens įgeriamumą (Jato-Espino et al., 2014; Gonera et al., 2023). Grindų dangos turi būti suprojektuotos ir įrengtos taip, kad jas naudojant ir prižiūrint būtų išvengta nelaimingų atsitikimų (paslydimo, kritimo, susidūrimo ir pan.) rizikos.

Vienas iš kelių reikalavimų grindims yra saugus žmonių judėjimas grindų paviršiumi. Dažniausios paslydimų priežastys yra šlapios ir slidžios grindų dangos judėjimo keliuose. Paslydimai, sukupimai ir pargriuvimai yra pagrindinė nelaimingų atsitikimų darbe priežastis visuose ekonomikos sektoriuose – nuo sunkiosios pramonės iki darbo biuro. Nelaimingi atsitikimai dėl šios priežasties sudaro 24 % visų darbo vietoje atsitinkančių nelaimingų atsitikimų.

1989 m. birželio 12 d. buvo priimta Tarybos direktyva dėl priemonių, skirtų skatinti darbuotojų sveikatos apsaugos ir saugos darbe gerinimo (Tarybos direktyva, 1989). Direktyva apima įmonės darbo patalpose esančias darbo vietas, taip pat bet kurias kitas esančias vietas, prie kurių darbuotojas darbo metu turi prieigą. Pagal direktyvos nuostatas saugą būtina užtikrinti ir judėjimo keliuose.

Atsparumas dangų trinčiai labiau svarbus tose patalpos zonose, kur įprastai juda transportas ar darbuotojai vaikšto su lauko avalyne (Dehghani et al., 2021). Tokiose zonose pasireiškia abrazyvinis dilimas tarp trijų kūnų, kai kietas, šiurkštus paviršius slysta per kitą paviršių. Jeigu dangos paviršius yra minkštesnis už daleles esančias tarp dangos ir kontaktuojamo paviršiaus, tuomet kietos dalelės juda laisvai ir ardo, vagoja grindų dangos paviršių, o tai mažina dangos ilgaamžiškumą (Sánchez-Garrido et al., 2022).

Dangos atsparumą dilimui lemia keletas kompleksinių savybių. Išskiriamos tokios pagrindinės savybės: kietumas, plastiškumas, trinties koeficientas, struktūros smulkiagrūdėtumas, kietosios fazės kiekis, padengimo tolygumas (Knapton, 1999). Dilimui atsparios dangos turi būti kietos ir plastiškos, chemiškai stabilios, pasižyminčios terminio plėtimosi koeficientų suderinamumo savybėmis, atsparios kirpimui, kiek to reikalauja aplinkos sąlygos. Taip pat labai svarbi savybė yra atsparumas korozijai. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad dangas paveikus korozijai, dangų paviršius minkštėja ir tampa trapesnis bei greičiau dyla, nei korozijos nepaveiktas paviršius (Eker et al., 2005).

Jeigu autoserviso patalpose numatomas cheminių medžiagų poveikis grindų dangoms, kuris gali sukelti dangos deformacijas, tuomet būtina įvertinti, ar numatoma danga yra atspari cheminiam poveikiui.

Autoservisams naudojamų grindų dangų įvairovė yra labai plati. Pastaraisiais metais dažniausiai naudojami šie grindų dangos tipai:

- keraminės plytelės;
- akmens masės plytelės;
- epoksidinės mastikos;
- polimerinės;
- cementbetonio.

Darbo metodika

Sprendžiant pastato projektavime optimizavimo uždavinius, sprendimui atlikti taikytas kiekybinių ir kokybinių rodiklių vertinimas. Atsižvelgiant į autoserviso grindų dangos specifiką ir dažniausiai priimamus sprendinius projektuojant dangas, šiame darbe atliekama keturių dangos tipų analizė bei pateikiamas daugiatis vertinimas, naudojant naudingumo vertės metodą. Naudojant šį metodą, atrenkamas tas projektinis sprendimas, kurio naudingumo vertė yra didžiausia.

Pastato grindų dangų sprendimų vertinimui taikant naudingumo vertės metodą, atlikti tokie vertinimo etapai:

- parenkami grindų dangų tipai;
- sudaroma vertinimo kriterijų sistema;
- pagal normalizuotas vertinimo rodiklių reikšmes, apskaičiuojamas kiekvieno rodiklio naudingumas balais;
- skaičiuojamas vertinimo rodiklių subjektyvus reikšmingumas;

Siekiant surasti optimalų sprendinį, parinkti tokie dangų tipai: akmens masės, polimerinė, epoksidinė, cementbetonio.

Akmens masės plytelių danga (A1 variantas) – dažniausias variantas nedideliems grindų plotams autotransporto remonto patalpose. Plytelių storis didesnis nei naudojamos butyje. Dažnai naudojamos

autoservisų grindų dangoms, kai betono paviršius yra visiškai lygus, t.y. plytelės klojamos ant visiškai teisingai išlyginto paviršiaus. Dažnai yra sakoma, kad plytelės autoserviso grindims naudoti yra nepraktiška, nes nukritus įrankiui, iš karto atsiranda įtrūkimai. Norint to išvengti, svarbu, kad įrengiant plyteles neliktų jokio oro tarpo, kadangi aplaidžiai atlikus plytelių klojimo darbus, tik tada įmanomi įtrūkimai nuo mechaninio smūgio.

Polimerinė danga (A2 variantas). Dangos atsparios cheminiam produktams. Dangą lengva valyti, jos nepralaidžios vandeniui, riebalams, danga yra dalinai atspari smūgiams. Grindų dangos pasižymi lengva priežiūra, ilgiau išlieka švarios ir užtikrina higieną patalpose, ypač tose, kurioms taikomos ypatingos švaros bei higienos normos, kadangi polimerinėje medžiagoje nesikaupia bakterijos, grybelis ir kiti mikroorganizmai. Tinkamai parinkta sistema ir įrengtos grindys užtikrina ilgą tarnavimo laiką, kuris gali siekti net kelis dešimtmečius.

Epoksidinė grindų danga (A3 variantas). Tai grindų danga sudaryta iš pasirinktų dažų, kietiklių ir dervų, kurios tarpusavyje sumaišytos reaguoja ir pradeda kietėti, taip sukuriamas tvirtas, patvarus ir ilgalaikis paviršius, kuris yra atsparus cheminėms ir kitokioms medžiagoms, geba atlaikyti intensyvių žmonių ir transporto judėjimą, smūgius ir įbrėžimus. Grindys reikalauja mažai priežiūros, jas lengva valyti ir prižiūrėti. Taip pat ši danga yra estetiška, nes galima rinktis iš įvairių spalvų ir stilių, pagal poreikį galima pritaikyti įmonių logotipus, individualų dizainą ar grafiką.

Cementbetonio danga (A4 variantas). Danga ypač atspari cheminei ir mechaninei apkrovai. Danga padidina betoninio pagrindo stiprumą ir gerai sukimba su betonu. Nesudėtingi dangos padengimo darbai.

Grindų dangos alternatyvių sprendimų vertinimui parinkti tokie vertinimo kriterijai:

Grindų dangos kaina (K1) – tai kriterijus, parodantis 1 m² gaminio kainą eurai. Kriterijaus skaitinės reikšmės paimtos remiantis platintojų ir gamintojų nurodyta informacija, išvedus aritmetinį vidurkį.

Grindų dangos ilgaamžiškumas (K2) – tai kokybinis kriterijaus rodiklis, išreikštas metais ir nusakantis kaip ilgai gali būti eksploatuojama grindų danga be papildomų išlaidų (remonto ir pan.). Šis rodiklis priklauso nuo darbų kokybės. Kriterijaus skaitinės reikšmės nustatytos, remiantis gamintojų nurodomu garantiniu laikotarpiu lyginant kelias skirtingų gamintojų identiškas grindų dangas išvedant aritmetinį vidurkį.

Grindų dangos mechaninis atsparumas (K3) – tai kriterijus, kuris parodo grindų dangos mechaninį atsparumą smūginėms apkrovoms (MPa). Vertinimas atliktas pagal gamintojų ir platintojų pateiktą informaciją, įvertinus asmeninę subjektyvią nuomonę.

Grindų dangos atsparumas drėgmei (K4) – tai kriterijus parodantis grindų dangos atsparumą drėgmės poveikiui. Vertinimas atliktas pagal gamintojų pateiktą informaciją įvertinus medžiagų savybes. 100% vertinamos visiškai atsparios drėgmei, mažiau atsparios vertinamos 85%.

Grindų dangos atsparumas slydimui (K5) – tai kriterijus parodantis grindų dangos paviršiaus slidumą balais (1-5), įvertinus grindų dangos struktūrą ir grublėtumą. Vertinimas atliktas remiantis gamintojų pateikta informacija, įvertinus asmeninę subjektyvią nuomonę, 1 balas skiriamas mažiausią slidumą turinčiai grindų dangai, 5 balais vertinama slidžiausia grindų danga.

Grindų dangos atsparumas agresyvioms medžiagoms (K6) – tai kriterijus parodantis grindų dangos atsparumą cheminėms agresyvioms išsiliejusioms medžiagoms balais (1-5). Vertinimas atliktas remiantis gamintojų pateikta informacija, įvertinus asmeninę subjektyvią nuomonę. 1 balas skiriamas didžiausią atsparumą agresyvioms medžiagoms turinčiai grindų dangai, 5 balais vertinama mažiausiai atspari cheminėms medžiagoms grindų danga.

Rezultatai ir jų aptarimas

Remiantis informacijos šaltiniais, sudaryta sprendimų priėmimo matrica *P* (1 lentelė).

1 lentelė

Pradiniai duomenys skaičiavimui ir optimalios reikšmės

Kriterijai \ Dangos tipas	A1	A2	A3	A4	Kriterijų optimalumas	Geriausia reikšmė
K ₁	40	37	60	75	min	37
K ₂	15	25	20	10	max	25
K ₃	25	25	30	60	max	60
K ₄	99	100	85	100	max	100
K ₅	5	1	2	4	max	5
K ₆	1	2	4	1	max	4

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal gautas duomenų matricos P geriausias reikšmes ir atliktus skaičiavimus, sudaryta normalizuotų dydžių matrica $\bar{P}$ (2 lentelė).

2 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės				
Kriterijai \ Dangos tipas	A1	A2	A3	A4
K ₁	0,925	1	0,616	0,493
K ₂	0,6	1	0,8	0,4
K ₃	0,417	0,417	0,5	1
K ₄	0,99	1	0,85	1
K ₅	1	0,2	0,4	0,8
K ₆	0,25	0,5	1	0,25

Šaltinis: sudaryta autorių

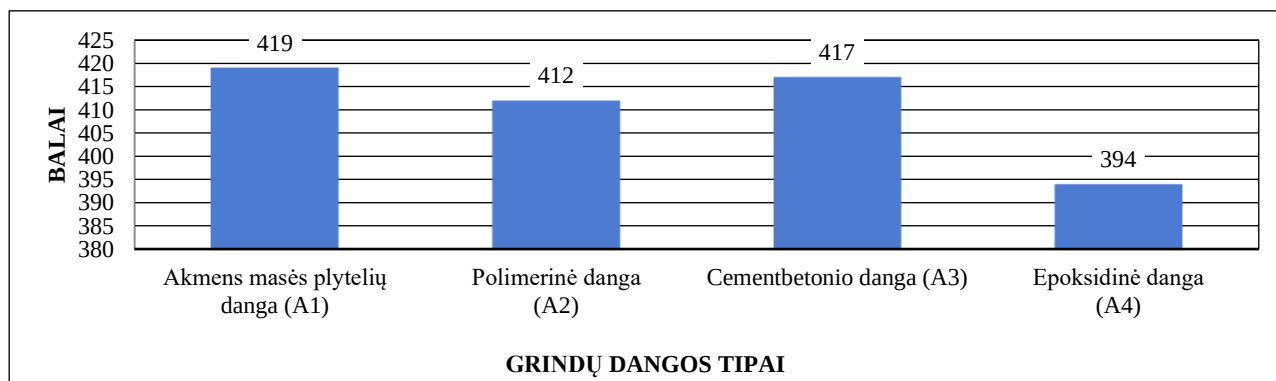
Pagal normalizuotas dydžių matricos vertinimo rodiklių reikšmes, skaičiuojama rodiklių naudingumo vertė $\bar{C}_{ij}$. Apskaičiuojamas kiekvieno rodiklio naudingumas balais (3 lentelė).

3 lentelė

Grindų dangos sprendimų naudingumas, neįvertinus kriterijų reikšmingumo				
Kriterijai \ Dangos tipas	A1	A2	A3	A4
K ₁	93	100	62	49
K ₂	60	100	80	40
K ₃	42	42	50	100
K ₄	99	100	85	100
K ₅	100	20	40	80
K ₆	25	50	100	25
Σ	419	412	417	394

Šaltinis: sudaryta autorių

Geriausias projektinis sprendimas yra tas, kurio kriterijai naudingiausi, t.y. didžiausia surinktų balų suma. Rezultatai pavaizduojami grafiškai (1 pav.).



1 pav. Alternatyvių variantų naudingumas neįvertinus kriterijų reikšmingumo

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus alternatyvių autoserviso grindų dangos variantų vertinimą, kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas optimalus sprendimas yra akmens masės plytelės (A1), antroje vietoje – cementbetonio danga (A3), trečioje vietoje – polimerinė danga (A2) ir paskutinėje vietoje yra epoksidinė danga (A4).

Apskaičiuojamos kriterijų vertės balais, kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas. Tam tikslui kiekviena kriterijaus reikšmė (3 lentelė) dauginama iš kriterijaus subjektyvaus reikšmingumo. Gautos reikšmės surašomos į matricą (4 lentelė).

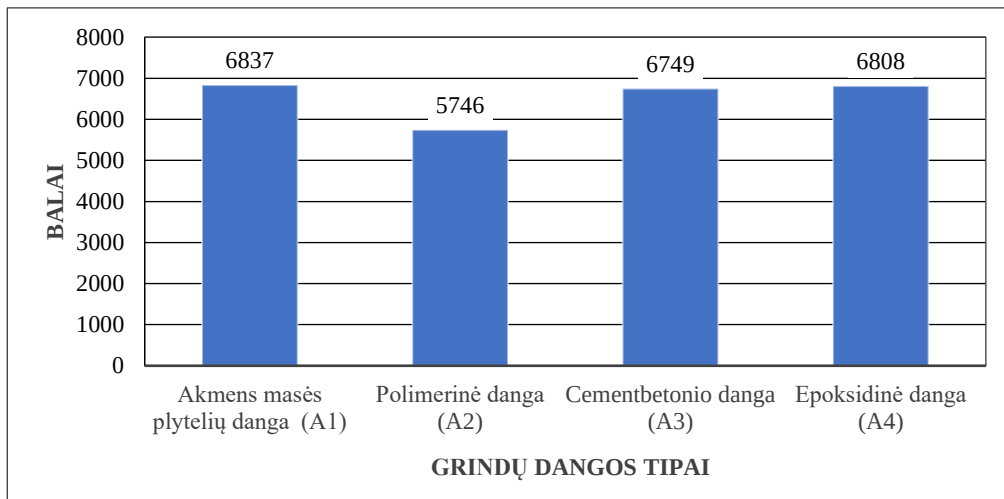
4 lentelė

Grindų dangos sprendimų naudingumas, kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas					
Kriterijai	Kriterijų subjektyvus reikšmingumas q_j , %	Matrica $C \cdot q_j$			
		A1	A2	A3	A4
K1	7	651	700	434	343
K2	12	720	1200	960	480

Kriterijai	Kriterijų subjektyvus reikšmingumas q , %	Matrica $C \cdot \overline{q_j}$			
		A1	A2	A3	A4
K3	18	756	756	900	1800
K4	15	1485	1500	1275	1500
K5	27	2700	540	1080	2160
K6	21	525	1050	2100	525
Σ		6837	5746	6749	6808

Šaltinis: sudaryta autorių

Naudingiausias grindų dangos projektinis sprendimas, kai įvertintas subjektyvus kriterijų reikšmingumas yra tas, kurio rodiklių balų suma didžiausia. Rezultatai grafiškai pavaizduoti 2 paveiksle.



2 pav. Alternatyvių variantų naudingumas, kai įvertinamas subjektyvus kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Išanalizavus alternatyvius autoserviso pastato grindų dangos sprendinius ir atlikus daugiakriterinį jų vertinimą nustatyta, kad kai neįvertinamas kriterijų reikšmingumas, racionalus autoserviso grindų dangos sprendinys – akmens masės keraminės plytelės (A1).
2. Apskaičiavus vertinimo rodiklių subjektyvų reikšmingumą, taikant ekspertinį porinio palyginimo metodą nustatyta, kad svarbiausi suinteresuotai grupei šiame vertinime rodikliai yra grindų dangos atsparumas slydimui (K5) ir grindų dangos mechaninis atsparumas (K3).
3. Atlikus daugiakriterinį grindų dangų variantų vertinimą, kai įvertinamas gautas subjektyvus rodiklių reikšmingumas nustatyta, kad racionalus grindų dangos sprendinys – taip pat akmens masės keraminės plytelės (A1).

Literatūra

1. Dehghani, H., Amiri Moghadam, M., Mahdavi S.H. 2021. Optimized flooring systems selection by analytic hierarchy process. *International journal of optimization in civil engineering*, 11(3), 397-409.
2. Eker, B., E. Yuksel, E. 2005. Solutions to corrosion caused by agricultural chemicals. *Trakia Journal of Sciences*, Vol. 3, No. 7, p. 1-6. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/242555991_Solutions_to_corrosion_caused_by_agricultural_chemicals>.
3. Gonera, J., Napiórkowski J. 2023. Analysis of the effect of passenger car design on floor panel wear. *Measurement*, 330. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113440>>.
4. Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., Canteras-Jordana, J.C. 2014. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*, 45, 151-162. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>>.
5. Knapton J. 1999. Single pour industrial floor slabs: specification, design, construction and behaviour. Book. Thomas Telford Limited, p.166. Prieiga per internetą: <https://books.google.lt/books?id=tkGhVXcz5hsC&printsec=frontcover&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>.

6. Tarybos direktyva 89/391/EEB. 1989 m. birželio 12 d. *Dėl priemonių darbuotojų saugai ir sveikatos apsaugai darbe gerinti nustatymo* = *Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work*.
7. Sánchez-Garrido, A.J., Navarro, I., Yepes, V. 2022. Multi-criteria decision-making applied to the sustainability of building structures based on modern methods of construction. *Journal of Cleaner Production*, 330. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129724>>.
8. Statybos techninis reglamentas. STR 1.07.03:2017 „Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka“. Vilnius, 2017.
9. Statybos techninis reglamentas. STR 2.05.13:2004 „Statinių konstrukcijos. Grindys“. Vilnius, 2004.

EVALUATION OF THE DESIGN SOLUTIONS FOR CAR SERVICE FLOOR COATINGS

Summary

When designing transport service buildings, one of the important elements in buildings is the selection of floor structures and their covering type. It is important to choose such a floor covering that ensures not only technical, technological, operational, but also ergonomic and environmental requirements. The aesthetic appearance, physical and mechanical properties of the floor should be evaluated comprehensively when choosing one or another floor covering. In addition, wheel balancing equipment, tire mounting machines, lifts and other service equipment are often attached to the floor. Therefore, the selection of effective and practical coatings is a complex enough task that cannot be solved based only on practical knowledge or marketing of new products.

The article presents the analysis of design solutions for car service floor coverings using a multi-criteria utility value determination method. The evaluation results made it possible to determine the optimal type of floor covering of the car service building, which can be used in the design of car service buildings.

Key words: Floor construction, floor coating, analysis of structural solutions.

ALTERNATYVIŲ KELIO ATITVARŲ PARINKIMO INŽINERINIŲ SPRENDIMŲ ANALIZĖ IR VERTINIMAS

Regina Motienė, Kostas Dulka
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Keliai projektuojami taip, kad automobiliai galėtų saugiai judėti ir būtų užtikrintas keleivių, vairuotojų, pėsčiųjų, gyvūnų bei augalų ir mažų ekosistemų saugumas. Taip pat stengiamasi nepakeisti iš esmės esamo kraštovaizdžio toje vietovėje. Esminis eismo sąlygų tokiam kelyje pagerinimas pasiekiamas rekonstruojant kelią, todėl rekonstravimo metu būtina sudaryti sąlygas saugiai judėti transportui. Norint sužinoti kelio atitvarų įrengimui tinkantį, inžinerinį sprendimą buvo atlikta atitvarų pasirinkimo analizė ir daugiakriterinis jų vertinimas, esant skirtingam vertinimo kriterijų reikšmingumui.

Reikšminiai žodžiai: entropinis ekspertinis vertinimo būdas, porinis ekspertinis vertinimo būdas, daugiakriterinis vertinimo būdas, atitvarai.

Išvadas

Lietuvą kerta du Europos kelių tinklo koridoriai ir šešios Europos automagistralės. Lietuvos kelių sistema yra sudedamoji šių tarptautinių transporto koridorių, jungiančių Rytų ir Vakarų bei Pietų ir Šiaurės šalis, dalis. Išvystytos transporto infrastruktūros poreikis įpareigoja ieškoti sprendimų, kurie leistų kiek įmanoma greičiau objektą perduoti galutiniam vartotojui.

Siekiant gerinti eismo saugą, 2020 03 18 patvirtinta Valstybinė eismo saugumo programa „Vizija-nulis“, kurios tikslas – iki 2050 m. pasiekti, kad žuvusiųjų Lietuvos keliuose nebebūtų. Šios programos prioritetai – saugesnė eismo dalyvių elgsena, saugesni keliai ir gatvės, saugesnės transporto priemonės, efektyvesnė pagalba po eismo įvykių ir efektyvesnis eismo įvykių rizikų valdymas. Taip pat svarbu apsaugoti pažeidžiamiausius eismo dalyvius – pėsčiuosius ir dviratininkus, mažinti susidūrimo su laukiniais gyvūnais riziką. Artimiausio dešimtmečio darbai „Vizija - nulis“ įgyvendinti numatyti konkrečių priemonių plane iki 2030 m., šiuo metu ieškoma naujų idėjų šiam planui atnaujinti.

Lietuvos automobilių kelių direkcija siekia, jog artimiausiu metu žūčių šalies keliuose skaičius mažėtų. Siekiant didinti eismo saugumą, kasmet šalies keliuose įrengiamos kompleksinės eismo saugumo priemonės: greičio mažinimo kalneliai, salelės, kelio atitvarai ar vidutiniai greičio matuokliai.

Visos inžinerinės eismo saugos priemonės diegiamos įvertinus žūčių ar incidentų keliuose statistiką, jų pobūdį, išanalizavus kiekvienos priemonės efektyvumą. Tik tuomet priimami sprendimai, kur ir kokia inžinerinė priemonė būtų tinkamiausia.

Atsižvelgiant į visus veiksnius, statistikos duomenis ir įtakojančias aplinkas, įžvelgiama problema – koks turėtų būti priimtas inžinerinis sprendimas parenkant kelio atitvarus užtikrinant eismo saugumą?

Tyrimo objektas – alternatyvių kelio atitvarų parinkimo inžinerinių sprendimų analizė ir vertinimas.

Tyrimo tikslas – atlikti kelio atitvarų parinkimo inžinerinių sprendimų analizę ir vertinimą.

Tyrimo uždaviniai:

1. Identifikuoti alternatyvių atitvarų parinkimo sprendimų variantus.
2. Atlikti alternatyvių kelio atitvarų parinkimo sprendimų vertinimą.

Tyrimo metodai:

1. Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas taikomas nustatyti racionaliausią kelio atitvarų parinkimo varianto sprendimą pagal pasirinktus kriterijus. (Šileikaitė, 2017)
2. Entropijos metodas taikomas nustatant kelio atitvarų parinkimo alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą.
3. Ekspertinis porinio palyginimo metodas taikomas subjektyvaus kriterijų reikšmingumo nustatymui

Alternatyvių atitvarų parinkimo inžinerinių sprendimų analizė

Esamas kelias, kuriam parenkamos eismo saugumo priemonės ir atliekama inžinerinių sprendimų analizė yra su žvyro danga. Važiuojamos dalies būklė yra nepatenkinama. Automobiliai važiuojantys tokiu keliu sukelia dulketumą šalia esančioms sodyboms. Vidutinė vieno kilometro žvyrkelio priežiūros kaina per metus – 1,33 tūkst. Eurų. Kelio vidutinis paros eismo intensyvumas yra 372 aut./parą, todėl kelias atsižvelgiant į eismo intensyvumo augimą turi atitikti V techninės kategorijos reikalavimus.

Eismo saugumui užtikrinti kelias apstatomas kelio ženklais ir įrengiami atitvarai.

Apsauginiai atitvarai (barjerai) gali būti sijiniai ir parapetiniai. Sijiniai atitvarai – tai metalinės atitvarų sijos su metaliniais statramsčiais, į žemę kalamais kas 1.33, 2 arba 4 metrus. Sijiniai apsauginiai kelio

atitvarai susidūrimo metu deformuojasi ir sugeria dalį arba visą susidūrimo smūgio jėgą, tokiu būdu išsaugant vairuotojo ir keleivių gyvybes. Sijiniai atitvarai – dažniausiai Lietuvoje naudojami kelio barjerai. Parapetiniai atitvarai gaminami iš gelžbetonio ir gali būti surenkami iš atskirų blokų arba monolitiniai, betonuojami vietoje specialia mašina. Šie betoniniai atitvarai yra standūs ir sulaiko ypač didelius šoninius smūgius. Šių tipų atitvarai Lietuvoje beveik nenaudojami. SR 37-01: 2001.

Kokius atitvarus parinkti, atlikta alternatyvių atitvarų parinkimo inžinerinių sprendimų analizė. Analizei atlikti naudoti vienkriteriniai ir daugiakriteriniai įvertinimo metodai.

Vienkriteriniai ir daugiakriteriniai įvertinimo metodai išreiškiami skaičiais, turi matavimo vienetus ir reikšmingumą. Kiekvienas kriterijus yra svarbesnis vienas už kitą lyginant juos poroje, parodo reikšmingumas. Taikant porinio palyginimo metodą nustatyta subjektyvus kriterijų reikšmingumas, o nustatant teorinį kriterijų reikšmingumą naudota entropijos metodas. Šio metodo esmė, nustatyti teorinį bei kompleksinį kriterijų reikšmingumą. Tačiau reikia atsižvelgti vertinimo kriterijų skaitines reikšmes ir kitimą pagal alternatyvas.

Vienas iš vienkriterinių metodų - vertinimas sąmatinių ekonominių skaičiavimų. Pasirinkti trys galimi atitvarų įrengimo variantai.

Atsižvelgus į atitvarų sąmatinę vertę, eismo intensyvumą bei kelio eismo sąlygas galimiems įrengimo atvejams gauta:

1. Vienpusiai metaliniai atitvarai – 5221,848 Eurų, ilgaamžiškumas – 30 metų.



1 pav. Vienpusiai metaliniai atitvarai

Šaltinis: Statybos rekomendacijos R37-01. Automobilių kelių apsauginiai atitvarai. <https://www.biseris.lt/apsauginiai-kelio-atitvarai/>

2. Metaliniai elipsės formos atitvarai – 9914,56 Eurų, ilgaamžiškumas – 35 metų.



2 pav. Metaliniai elipsės formos atitvarai

Šaltinis: Statybos rekomendacijos R37-0. Automobilių kelių apsauginiai atitvarai. <https://www.biseris.lt/apsauginiai-kelio-atitvarai/>

3. Parapetiniai atitvarai – 7164,620 Eurų, ilgaamžiškumas – 20 metų.



2 pav. Parapetiniai atitvarai

Šaltinis: Statybos rekomendacijos R37-0. Automobilių kelių apsauginiai atitvarai. <https://www.biseris.lt/apsauginiai-kelio-atitvarai/>

Nustatyta, kad pagal ilgaamžiškumą priimtinausi yra metaliniai elipsės formos atitvarai, tačiau įvertinus ekonominius skaičiavimus, pigiausias įrengimo variantas - vienus metaliniai atitvarai.

Alternatyvių atitvarų parinkimo inžinerinių sprendimų vertinimas

Parinkant optimaliausius atitvarus, pritaikyta naudingumo vertės metodas (daugiakriterinis įvertinimo metodas). Palyginta ne tik sąmatiniai, bet ir kiti svarbūs turintys įtakos pasirinkimui, rodikliai (darbų trukmė bei darbininkų kategorija).

Pirmiausia nustatyta atitvarų alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų teorinis reikšmingumas, taikant Entropijos metodą. Pradiniai duomenys pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė

Pradiniai duomenys

Kriterijai Alternatyvūs Sprendimai	K ₁ Kaina, Eurais	K ₂ Darbų Trukmė žm.val.	K ₃ Ilgaamžiškumas (metai)	K ₄ Darbininkų kvalifikacijos lygis, (vid. kategorija)
Vienpusiai metaliniai atitvarai (A ₁)	5221.848	255.96	30	3.25
Metaliniai elipsės formos atitvarai (A ₂)	9914.56	763.21	35	3.46
Gelžbetoniniai parapetiniai atitvarai (A ₃)	7164.620	506.09	20	3.37
Optimalumas	Min	Min	Max	Max

Šaltinis: sudaryta autorių

Duota pradinių duomenų matrica P, ją reikia normalizuoti į matricą $\bar{P}$. Matricos normalizavimas atliekamas pagal formulę:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (1)$$

čia $\bar{p}$ - elemento, kurio eilutė yra i, o stulpelis j, normalizuotas pavidas; x_{ij} – elementas, kurio eilutė i, o stulpelis j.

$$\begin{aligned} \bar{p}_{11} &= \frac{5221.848}{22301.28} = 0.234 & \bar{p}_{21} &= \frac{255.96}{1525.26} = 0.167 & \bar{p}_{31} &= \frac{30}{85} = 0.352 & \bar{p}_{41} &= \frac{3.25}{10.08} = 0.322 \\ \bar{p}_{12} &= \frac{9914.56}{22301.028} = 0.444 & \bar{p}_{22} &= \frac{763.21}{1525.26} = 0.5 & \bar{p}_{32} &= \frac{35}{85} = 0.411 & \bar{p}_{42} &= \frac{3.47}{10.08} = 0.344 \\ \bar{p}_{13} &= \frac{716.620}{22301.28} = 0.321 & \bar{p}_{23} &= \frac{506.09}{1525.26} = 0.3318 & \bar{p}_{33} &= \frac{20}{85} = 0.235 & \bar{p}_{43} &= \frac{3.37}{10.08} = 0.334 \end{aligned}$$

2 lentelė

Pradinių duomenų matricos P, normalizuotos į matricą $\bar{P}$ duomenys

Kriterijai Alternatyvūs Sprendimai	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
A ₁	0,234	0,167	0,352	0,322
A ₂	0,444	0,5	0,411	0,344
A ₃	0,321	0,3318	0,235	0,334

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustati visų kriterijų entropijos lygį E_j. Entropijos lygiui nustatyti naudojama formulė:

$$E_j = -k \sum p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (2)$$

čia E_j – entropijos lygis; k – koeficientas, kuris priklauso nuo eilučių skaičiaus (m); p_{ij} – elemento, kurio eilutė yra i, o stulpelis j, normalizuotas pavidas;

$$k = \frac{1}{\ln m} = \frac{1}{\ln 3} = 0.91;$$

$$\bar{E}_1 = -0.91 \times (0.234 \times \ln 0.234 + 0.444 \times \ln 0.444 + 0.321 \times \ln 0.321) = 0.969$$

$$\bar{E}_2 = -0.91 \times (0.167 \times \ln 0.167 + 0.5 \times \ln 0.5 + 0.3318 \times \ln 0.3318) = 0.919$$

$$\bar{E}_3 = -0.91 \times (0.352 \times \ln 0.352 + 0.411 \times \ln 0.411 + 0.235 \times \ln 0.235) = 0.975$$

$$\bar{E}_4 = -0.91 \times (0.322 \times \ln 0.322 + 0.344 \times \ln 0.344 + 0.334 \times \ln 0.334) = 0.998$$

Pagal entropijos lygį nustatyta visų kriterijų kitimo lygis d_j . Šis lygis nustatomas pagal formulę:

$$d_j = 1 - \bar{E}_j ; \quad (3)$$

čia d_j – kriterijų kitimo lygis; E_j – entropijos lygis;

$$d_1 = 1 - 0.969 = 0.031$$

$$d_2 = 1 - 0.919 = 0.081$$

$$d_3 = 1 - 0.975 = 0.025$$

$$d_4 = 1 - 0.998 = 0.002$$

$$\sum = 0.139$$

Teorinio kriterijų reikšmingumo nustatymas. Teorinis kriterijų reikšmingumas nustatomas pagal formulę:

$$q_j^{(t)} = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} ; \quad (4)$$

čia $q_j^{(t)}$ – teorinis kriterijų reikšmingumas; d_j – kriterijų kitimo lygis;

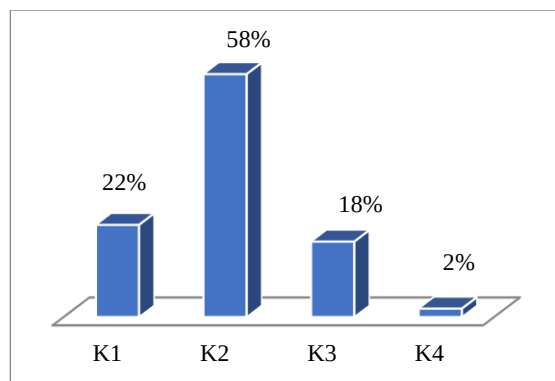
$$q_{(1t)} = \frac{0.031}{0.139} = 0.22 \quad (22\%)$$

$$q_{(2t)} = \frac{0.081}{0.139} = 0.58 \quad (58\%)$$

$$q_{(3t)} = \frac{0.025}{0.139} = 0.18 \quad (18\%)$$

$$q_{(4t)} = \frac{0.002}{0.139} = 0.02 \quad (2\%)$$

Prioritetų eilutė: **K₂ > K₁ > K₃ > K₄**



3 pav. Atitvarų alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo teorinių kriterijų reikšmingumas

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustačius atitvarų alternatyvių projektinių sprendimų teorinį reikšmingumą, taikant entropijos metodą, galima spręsti, kad nagrinėtų atitvarų konstrukcijų pagrindinis ir svarbiausias kriterijus yra darbų trukmė. Sekančiame etape nustatyta atitvarų alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų subjektyvus reikšmingumas, taikant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą.

Nustatyta atitvarų alternatyvių projektinių sprendimų vertinimo kriterijų subjektyvus reikšmingumas, taikytas porinio palyginimo metodas, pagal jau paskaičiuotą teorinį kriterijų reikšmingumą: $K_2 > K_1 > K_3 > K_4$.

3 lentelė

Porinio palyginimo metodo duomenys

Kriterijai	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	Σ	Q	%
K ₁	-	2	0	2	4	0.33	33
K ₂	2	-	2	2	6	0.17	17
K ₃	0	0	-	2	2	0.50	50
K ₄	0	0	0	-	0	0	0
Σ					12	1.00	100

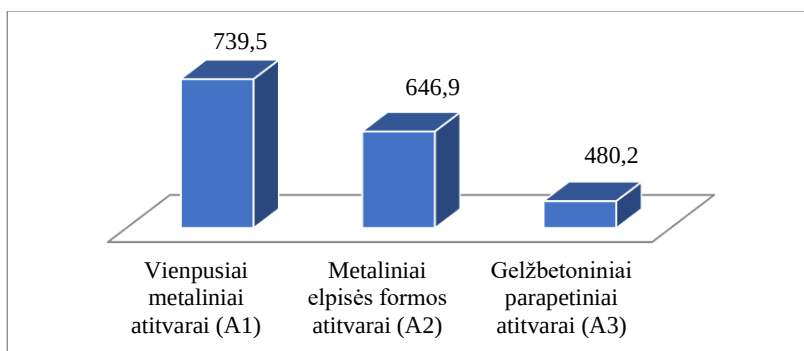
Šaltinis: sudaryta autorių

4 lentelė

Daugiakriterinis naudingumo vertės metodas

Vertinimo kriterijai	q _j (%)	Kriterijų reikšmės pagal variantus			Optimalumas	Naudingumo vertė [1;10], (geriausia 10)			Naudingumas (N) visų kriterijų požiūriu		
		A ₁	A ₂	A ₃		A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Kaina (Eur.)	33	5221,848	9914,56	7164,620	Min	7.26	4,4	10	239.5	145.2	330
Darbų trukmė (žm.val.)	50	255.96	763.21	506.09	Min	10	3.3	4.06	500	165	203
Ilgamžiškumas (metais)	17	30	35	20	Max	8.6	10	6.7	146.2	170	113,9
Darbininkų kvalifikacija	0	3.25	3.46	3.37	Max	10	9.3	9.6	0	0	0
Σ	100								739,5	480,2	646,9

Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Atitvarų konstrukcijų naudingumas visų kriterijų atžvilgiu

Šaltinis: sudaryta autorių

Naudojant daugiakriterinį naudingumo vertės metodą ir kriterijų subjektyvų reikšmingumą, buvo nustatyta, jog racionaliausias atitvarų konstrukcijų projektinis sprendimas yra A1 variantas, įrengiant metalinius vienpusius atitvarus

Išvados

1. Identifikuojant alternatyvių kelio atitvarų įrengimo sprendimų variantus buvo parinkti trys galimi variantai: vienpusiai metaliniai atitvarai (A1), metaliniai elipsės formos atitvarai (A2), gelžbetoniniai parapetiniai atitvarai (A3).

2. Atlikus kelio atitvarų įrengimo alternatyvių sprendimų vertinimo kriterijų teorinį reikšmingumą, nustatyta, kad svarbiausi kriterijai yra K₂ (Darbo trukmė žm/val.) ir K₁ (kaina). Teorinis kriterijų reikšmingumas apskaičiuotas taikant teorinį Entropijos metodą. Naudojant

daugiakriterinį naudingumo vertės metodą ir kriterijų subjektyvų reikšmingumą, buvo nustatyta, jog racionaliausias atitvarų parinkimo konstrukcijų projektinis sprendimas yra A1, įrengiant metalinius vienpusius atitvarus.

Literatūra

1. Automobilių keliai. Kelių techninis reglamentas KTR 1.01:2008. Patvirtintas 2008 m. sausio 9 d. įsakymu Nr. D1-11/3-3.
2. Automobilių kelių žemės darbų atlikimo ir žemės sankasos įrengimo taisyklės (IT ŽS 17). Patvirtintos 2017 m. balandžio 3 d. įsakymu Nr. V-111
3. Automobilių kelių transporto priemonių apsauginių atitvarų sistemų projektavimo taisyklės KPT TAS 09 Patvirtintos 2010 m. sausio 7 d. įsakymu Nr. V-8.
4. Automobilių kelių darbo vietų aptvėrimo ir eismo reguliavimo taisyklės DVAER 12. Patvirtintos 2012 m. balandžio 16 d. įsakymu Nr. V-87.
5. Automobilių kelių vertikaliųjų kelio ženklų įrengimo taisyklės IT VŽ 14. Patvirtintos 2014 m. kovo 7 d. įsakymu Nr. V-81.
6. Kelių horizontaliojo ženklinimo taisyklės. Patvirtintos 2012 m. sausio 31 d. įsakymu Nr. 3-82.
7. Kelio ženklų atramų parinkimo, projektavimo ir įrengimo taisyklės PĮT KŽA 08. Patvirtintos 2008 m. rugsėjo 29 d. įsakymu Nr. V-298.
8. Kelio ženklų įrengimo ir vertikaliniojo ženklinimo taisyklės. Patvirtintos 2012 m. sausio 31 d. įsakymu Nr. 3-83.
9. Lietuvos automobilių kelių direkcija. Valstybinės reikšmės kelių priežiūra ir plėtra 2019–2035 metais [žiūrėta 2023 10 13]. Prieiga per internetą <https://bit.ly/2wsnPHt>
10. Lietuvos Respublikos kelių įstatymas. Įstatymas paskelbtas: Žin. 1995, Nr. [44-1076](#), i. k. 0951010ISTA000I-891 Nauja redakcija nuo 2002-10-23:Nr. [IX-1113](#), 2002-10-03, Žin. 2002, Nr. 101-4492 (2002-10-23), i. k. 1021010ISTA01X. Kelių įstatymo Nr. I-891 17 straipsnio pakeitimo įstatymas. Patvirtintas 2020 m. lapkričio 10 d. Nr. XIII-3421.
11. Lietuvos Respublikos vyriausybė. Nutarimas Dėl valstybinės eismo saugumo programos „vizija – nulis“ patvirtinimo. 2020 m. Kovo 18 d. Nr. 256.
12. Statybos rekomendacijos. (2001). R 37-01. Automobilių kelių apsauginiai atitvarai.
13. Šileikaitė, I. (2017). Daugiakriteris inovacijų vertinimo modelis statyboje ir jo taikymas. (Magistro darbas). VGTU. 104 p. [žiūrėta 2023 10 13]Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:22826293>.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF ENGINEERING SOLUTIONS FOR CHOOSING ALTERNATIVE TRAFFIC BARRIERS

Summary

Roads are designed to ensure the safety of their users – vehicle drivers, passengers, and pedestrians – as well as animals, plants, and small ecosystems. Efforts are also made to preserve as much of the existing landscape as possible. Substantial improvements in road traffic conditions are achieved by reconstruction; therefore, it is necessary to create conditions for the safe movement of traffic during the reconstruction. To select the most suitable engineering solution, an analysis of traffic barrier alternatives and their multi-criteria evaluation using different significance of the evaluation criteria was carried out.

Key words: Entropic expert evaluation method, pairwise expert evaluation method, multicriteria evaluation method, traffic barriers.

**ELETRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KRYPTIES NAUJOVĖS BEI
PERSPEKTYVOS MOKSLE IR PRAMONĖJE**

AUTOMATIKOS SISTEMŲ MONTAVIMO IR DERINIMO PROCESŲ OPTIMIZAVIMAS

Viačeslav Vaščenkov¹, Rūta Jankūnienė²
AB „Achema“¹, Kauno technikos kolegija²

Anotacija

Gamybos įmonėse, eksploatuojančiose automatizuotas gamybos sistemas, yra naudojama daug kontrolės ir matavimo įrangos, skirtos automatikos sistemų tikrinimui ir derinimui. Dėl to, kad daugelis šios įrangos vienu metu gali tik matuoti arba tik išduoti signalą, padidėja gamybinių sistemų aptarnavimo laiko sąnaudos ir, tuo pačiu, sumažėja gamybos efektyvumas. Todėl automatikos sistemų montavimo ir derinimo procesų optimizavimui sukurtas jų funkcionalumo pirminės diagnostikos daugiaviečių testavimo įrenginys, kuris geba generuoti ir matuoti srovės kilpos signalą 4 – 20 mA ribose, turi aktyvius ir pasyviuos srovės kilpos matavimo režimus bei gali valdyti išėjimo signalą, kai derinami skirtingų tipų vožtuvai. Realizuota 2 laidų schema jutiklių duomenų siųstuvų pajungimui, srovės kilpos išėjimui parinkta schema su vienu operaciniu stiprintuvu ir tranzistoriumi, suspausto oro slėgio matavimui pasirinktas pjezovaržinis jutiklis, o duomenų atvaizdavimui - OLED grafinis ekranas. Prototipinio įrenginio testavimo rezultatai atskleidė, kad jo matuojamų parametrų paklaidos neviršijo leistinos $\pm 1\%$ paklaidos, kuri pirminei automatinė sistemų diagnostikai yra toleruotina.

Reikšminiai žodžiai: daugiaviečių testavimo įrenginys, automatizuota gamybos sistema, 4 – 20 mA srovės kilpa, slėgio jutiklis, OLED.

Įvadas

Gamybos įmonėse, eksploatuojančiose automatizuotas sistemas, naudojama nemažai kontrolei skirtos matavimo įrangos (lygio, kiekio, temperatūros, slėgio matavimui). Šiai įrangai reikia periodiškos patikros bei remonto, kada ji yra išmontuojama. Po patikros montuojant įrangą atgal į automatizuotas sistemas, reikia iš naujo visą sistemą suderinti ir patikrinti. Tam reikalingas 4 – 20 mA srovės kilpos analoginio signalo testavimo įrenginys, atitinkantis pramonei skirtą ISA 50.1-1982 (R1992) standartą. Jau nuo praeito amžiaus šeštojo dešimtmečio gamybinių procesų stebėjimui ir jų valdymui keitėsi duomenys perduodami, naudojant tokias srovės kilpas dėl jų tinkamumo pramoninėje aplinkoje, nes, kaip pažymėjo įvairūs gamybininkų ir automatikos sistemų eksploatuotojų atstovai (Automatikos forumas, 2023; Instrumentalistų Forumas, 2023; Gavardoni, 2010), tokiu būdu signalus galima perduoti dideliais atstumais (srovės vertė nesumažėja ir signalas išlieka pastovus visoje perdavimo grandinėje), taip pat srovės kilpos pasižymi atsparumu triukšmams ir mažomis diegimo išlaidomis. Srovės kilpoje signalas, gaunamas iš nuolatinės srovės maitinimo šaltinio, teka per siųstuvą į valdiklį ir nuoseklia grandine grįžta atgal į maitinimo šaltinį. Siųstuvą paverčia fizikinę vertę (srautą, greitį, padėtį, lygį, temperatūrą, drėgmę, slėgį) į valdymo signalą.

Dauguma rinkoje naudojamų testavimui ir derinimui skirtų įrenginių vienu metu gali tik paduoti arba matuoti signalą (Farnell, 2023). Pavyzdžiui, vienas jų - „MulticompPro 700005“ - nešiojamas įrenginys, skirtas automatikos ir matavimų procesų signalų kalibravimui. Kitas įrenginys - „Fluke 709“ - tai tikslus nešiojamas srovės kilpos bei įtampos kalibratorius, skirtas derinti įvairius vožtuvus ir jų sistemas. Dar viena versija - „Fluke 721“ - nešiojamas slėgio ir srovės kilpos kalibratorius, turintis grafinį daugiaviečių **skystųjų kristalų** ekraną ir du slėgio jutiklius. Visi išvardinti įrenginiai neturi vienalaikio srovės kilpos išdavimo ir srovės kilpos reguliavimo funkcijos srovės kilpos signalo matavimui ir išdavimui 4 – 20 mA ribose. Taip pat būtini aktyvūs ir pasyvūs srovės kilpos matavimo režimai dėl signalo perdavimo galimybių dideliais atstumais (srovės vertė nesumažėja ir signalas išlieka pastovus visoje perdavimo grandinėje, srovės kilpos pasižymi atsparumu triukšmams ir mažomis diegimo išlaidomis). Labai svarbu, kad toks įrenginys neviršytų leistinas matavimų paklaidas, taip pat kad jį būtų galima naudoti įvairiose gamybinėse aplinkose, realizuojant reikiamas apsaugas bei tinkamą ekrano apšvietimą. Tai suponuoja reikalavimus įrenginio portatyvumui. Sutaupius įrenginių priežiūrai laiko resursus, padidinamas gamybos efektyvumas.

Todėl, automatikos sistemų montavimo ir derinimo procesų optimizavimui tikslinga atsakyti į klausimą, kokie sprendimai leistų sukurti universalų daugiaviečių įrenginį, su kuriuo būtų galima atlikti vienalaikės gamyklinių automatikos sistemų matavimo ir testavimo funkcijas?

Tad **tyrimo objektas** - automatinė gamybinių sistemų darbingumas.

Tyrimo tikslas: pasiūlyti optimizuotą technologinį sprendimą daugiaviečiam testavimo įrenginiui, kuris būtų skirtas automatinė gamybinių sistemų pirminei diagnostikai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Aptarus įvairių automatinė gamybinių sistemų darbingumo charakteristikų matavimo būdus bei technologijas, parinkti daugiaviečių testavimo įrenginio koncepcinį sprendimą.
2. Sukurti prototipinį matavimo įrenginį ir jį ištestuoti.

Tyrimo metodai ir priemonės: Turinio analizė, empirinis tyrimas, atliktas su realiomis automatinėmis gamybos sistemomis.

Todėl, įvertinus tai, kas pažymėta aukščiau, galimi daigafunkcinio testavimo įrenginio realizavimo būdai ir technologijos nagrinėjami skyrelyje „Automatinių gamybos sistemų diegimo ir jų priežiūros užtikrinimo aspektai“. Skyrelyje „Daigafunkcinio testavimo įrenginio praktinis realizavimas“ paaiškinama minėto įrenginio veikimo logika ir pateikiami bei aprašomi pagrindiniai šio įrenginio funkciniai blokai. Skyrelis „Testavimo rezultatai ir jų analizė“ atskleidžia įvairių parametrų, išmatuotų daigafunkciniu testavimo įrenginio prototipu, matavimų paklaidas. Straipsnio autorių atliktos technologinės analizės įžvalgos bei praktinių sprendimų daigafunkciniam matavimų įrenginiui pagrindimas pateiktas šio straipsnio išvadose.

Automatinių gamybos sistemų diegimo ir jų priežiūros užtikrinimo aspektai

Pramoniniai kontrolės matavimo prietaisų ir automatikos sistemų testavimo įrenginiai, paprastai, yra nešiojami. Be šios savybės, siekiant optimizuoti montavimo ir derinimo procesus, tikslinga numatyti ir vienalaikį srovės kilpos analoginio tipo signalo išdavimą bei matavimą. Derinant pramonines automatikos sistemas, neturinčias atskiro maitinimo šaltinio, reikalingas 24 V DC ir izoliuotos topologijos vidinis srovės kilpos maitinimo šaltinis (akumulatorius). Nuolatinės įtampos matavimo intervalą tikslinga užtikrinti 0 – 30 V ribose.

Srovės kilpos signalo diapazonas pagal standartą gali būti ne tik 4 – 20 mA, bet ir 0 – 20 mA ar 0 – 5 mA. Dauguma šiuolaikinių prietaisų standartas yra 4 – 20 mA, todėl testavimui to pilnai užtenka. Srovės kilpos išėjimo signalo perdavimo spartos reguliavimas turi būti numatomas skaitmeniniu potenciometru, o ne mygtukais, nes reikalingas tiek lėtas, tiek ir greitas signalo kitimas. Kadangi, srovės kilpos maitinimo šaltiniui reikia DC–DC keitiklio, jo maitinimo nominali įtampa neturi būti mažesnė nei 9 V nuolatinės įtampos, tad maitinimui tikslinga naudoti 10,8 V, 2000 mAh talpos ličio jonų akumuliatorių. Akumuliatorių įkrovimas turi būti realizuotas 15 V DC, 2 A maitinimo šaltiniu. Taip pat svarbu, kad toks įrenginys galėtų matuoti suspausto oro, paduodamo į pneumatikos prietaisus, slėgį bei nuolatinę įtampą. Slėgio kontrolei, derinant pneumatikos prietaisus, reikalingas matavimo intervalas 0 – 5 bar. Leistina srovės, įtampos ir slėgio matavimo paklaida $\pm 1\%$.

Įrenginio funkcionalumui labai svarbus grafinis matuojamo ir sugeneruoto signalų vienalaikis duomenų pavaizdavimas ekrane su apšvietimu.

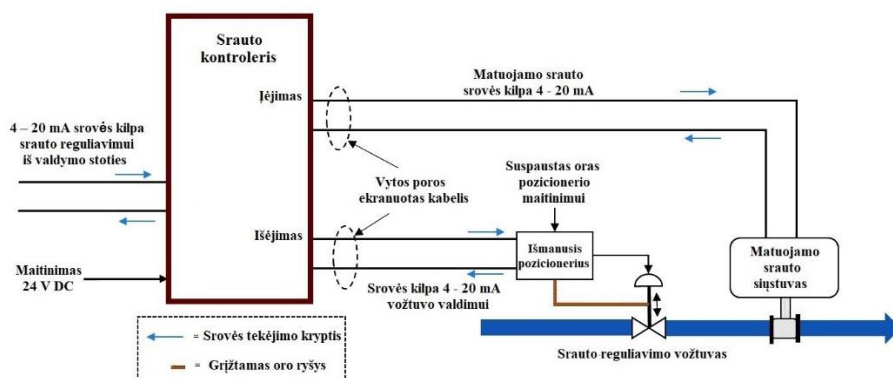
Kam nešiojamam daigafunkciniam įrenginiui reikia tiek daug funkcijų? Kaip teigia tyrėjai-praktikai (Instrumentalistų Forumas, 2023), pakeitus vožtuvą į naują, vandens srauto reguliavimo sistema išsiderina (1 pav.). Tada reikia suderinti visą sistemą iš naujo. Šiuo atveju testavimo įrenginys

jungiamas vietoj kontrolerio. Iš testavimo įrenginio išėjimo generuojamas srovės kilpos signalas, kuris atidaro arba uždaro vožtuvą, o jo įėjime matome iš matuojamojo vandens srauto siūstovo išeinantį srovės kilpos signalą, atitinkantį vandens srautą. Matant, kiek vandens praleidžia vožtuvas, jį galima reguliuoti taip, kad būtų pasiektas reikiamas vandens lygis.

Įvairių vožtuvų konstrukcijos yra skirtingos, nemažai jų yra valdomi suspausto oro pagalba. Tada reikia kontroliuoti suspausto oro, paduodamo į vožtuvo membraną, slėgį.

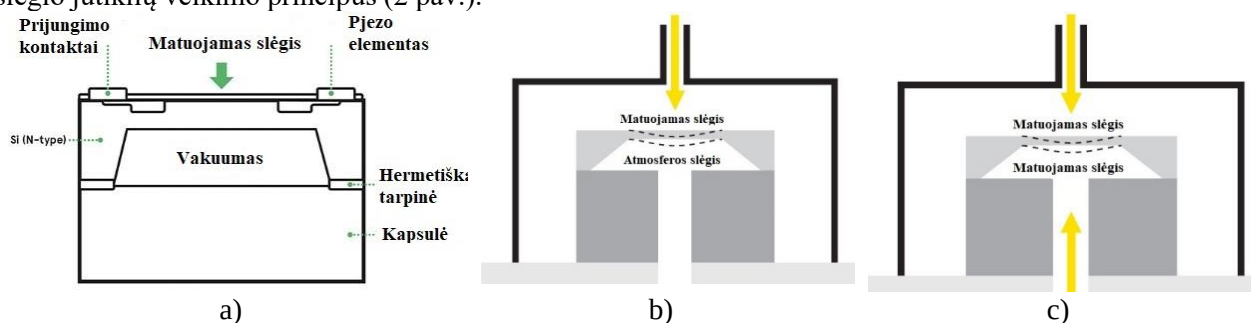
Kaip teigia pirmaujantys Europos elektroninių sprendimų gamintojai (Avnet Abacus, 2017: 8), pagal veikimo principus slėgio jutiklius galima suskirstyti į tris pagrindinius tipus:

- absoliutaus slėgio,
- manometriniai slėgio jutikliai,
- diferenciniai slėgio jutikliai.



1 pav. Vandens srauto reguliavimo sistemos pavyzdys [9]

AMA jutiklių technologijų asociacijos narė, Pramonės 4.0 lyderė šveicarų jutiklių ir galios elektronikos įrangos gamintoja “Angst+Pfister Sensors and Power AG” (Slėgio jutikliai, 2023) išskyrė tris slėgio jutiklių veikimo principus (2 pav.).

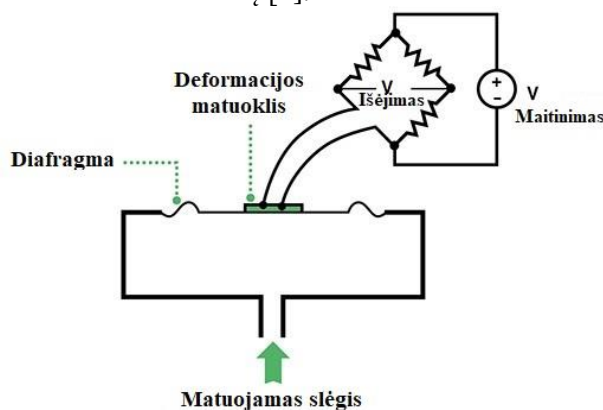


2 pav. Slėgio jutiklių veikimo principai: a) absoliutus, b) manometrinio, c) diferencinio [2]

Absoliutaus slėgio jutikliai matuoja slėgį, lyginant jį su vakuumo slėgiu (2 pav. a). Tokio tipo slėgio jutikliai naudojami meteorologinėse stotelėse, navigacijos sistemose, ten, kur reikia matuoti aukštį virš jūros lygio. Manometriniai slėgio jutikliai matuoja slėgį atmosferos slėgio atžvilgiu (2 pav. b). Diferenciniai slėgio jutikliai matuoja slėgio skirtumą tarp dviejų taškų (2 pav. c). Atliekami matavimai visiškai nepriklauso nuo atmosferos slėgio, skirtingai nuo manometrinių jutiklių. Šie slėgio skirtumo jutikliai dažniausiai naudojami pramonėje dujų ar skysčių srautui matuoti [2].

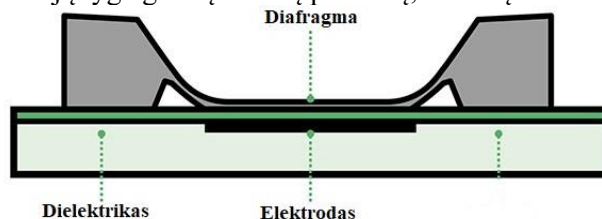
Pagal savo funkcionalumą tinkamiausi yra manometrinio slėgio jutikliai. Todėl tikslinga apžvelgti jų technologijas. Naudojami šie manometrinio slėgio elektrinių jutiklių tipai: pjezovaržiniai, talpiniai ir pjezoelektriniai jutikliai.

Pjezovaržiniuose slėgio jutikliuose (3 pav.) matuojamas vieno ar kelių rezistorių, kurie sumontuoti ant diafragmos, elektrinės varžos pokytis. Atsparumo pokytis yra tiesiogiai proporcingas įtempimui, kurį sukelia slėgis ant diafragmos. Rezistoriai yra sujungti į tilto tipo grandinę, kuri leidžia labai paprastai konvertuoti nedidelius pokyčius į išėjimo įtampą. Jutikliai yra tvirti, atsparūs smūgiams, vibracijai ir dinaminiam slėgio pokyčiams. Signalo išvestis yra tiesinė, o atsako laikas, paprastai, yra mažesnis nei 1 ms. Šie jutikliai gali būti naudojami įvairiems slėgio matavimams nuo 21 kPa iki 150 MPa. Vienas iš pagrindinių trūkumų - jų išvestis priklauso nuo temperatūros ir turi histerezę [2].



3 pav. Pjezovaržinio jutiklio veikimo principas [2]

Talpiniai slėgio jutikliai matuoja elektrinės talpos pokyčius, kuriuos sukelia diafragmos judėjimas. Kondensatorius susideda iš dviejų lygiagrečių laidžių plokščių, atskirtų nedideliu tarpu (4 pav.).

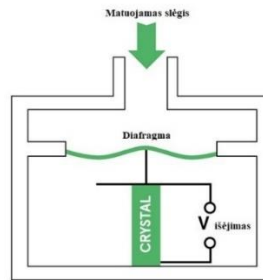


4 pav. Talpinis slėgio jutiklis [2]

Talpinis elementas yra mechaniškai paprastas ir tvirtas. Šio tipo jutikliai gali veikti plačiame temperatūrų diapazone ir yra labai tolerantiški trumpalaikėms viršslėgio sąlygoms. Jais galima matuoti platų

slėgio diapazoną nuo vakuumo (250 Pa) iki aukšto slėgio (maždaug 70 MPa). Pasižymi nedidele histereze ir greitu atsaku. Vienas iš pagrindinių talpinių jutiklių trūkumų - jų netiesiškumas, nes išėjimo signalas yra atvirkščiai netiesiškai proporcingas tarpui tarp lygiagrečių elektrodų [2].

Pjezoelektriniuose slėgio jutikliuose (5 pav.) jutimo elementai yra pagaminti iš standžių medžiagų, tokių, kaip kvarco kristalai arba speciali keramika, kuri, veikiant slėgiui, sukuria krūvį.



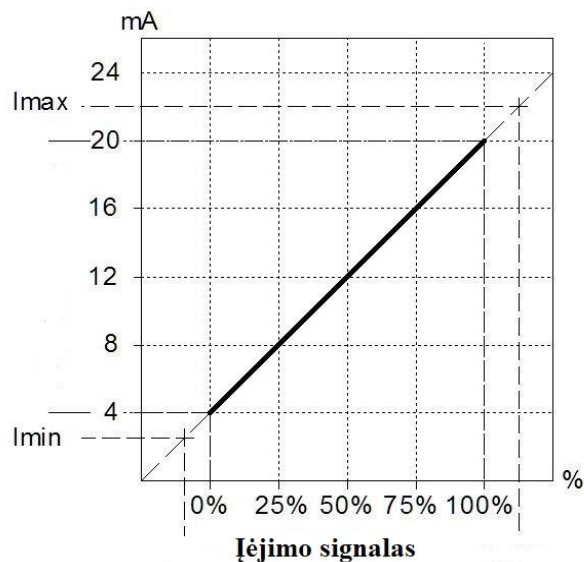
5 pav. Pjezoelektrinio jutiklio veikimo principas [2]

Pasižymi plačiu slėgio parametro matavimo diapazonu (nuo 0,7 kPa iki 70 MPa). Pagrindiniai pjezoelektrinių jutiklių privalumai yra jų tvirtumas ir maža galia. Trūkumas - juos galima naudoti tik dinaminiam slėgio matavimui [2].

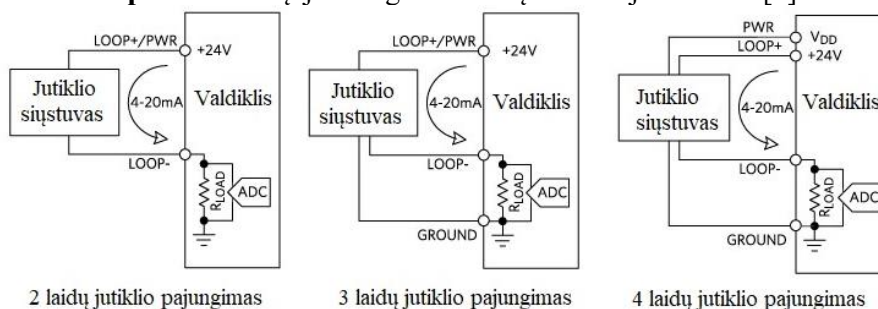
Pagal matavimo ribas, tiesinę slėgio priklausomybę nuo įtampos, nejautrumą temperatūrai, konstrukcijos tvirtumą ir kompaktiškumą suspausto oro matavimui tinkamiausi yra pjezovaržinis ir pjezoelektrinis jutikliai.

Jutiklių siūstuvus naudojamas jų duomenų perdavimui per dvilaidę srovės kilpą. Bet kurioje srovės kilpoje gali būti tik vienas siūstuvo išėjimas. Siūstuvą paverčia jutikliais išmatuoto fizikinio dydžio signalą į valdymo signalą ir reguliuoja srovės kilpos lygį, kad jis būtų proporcingas faktiniam jutiklio įvesties signalui. Siūstuvai, paprastai, naudoja 4 mA išvestį kalibruotam nuliui arba 0 %, o 20 mA išvestį, kad parodytų kalibruotą visos skalės įvesties signalą arba 100 % (6 pav.) (Gavardoni, 2010: 6).

Kaip teigė autorius (Kurtsevov, 2014: 6), visi 4 – 20 mA jutiklių siūstuvai pagal jų pajungimo konfigūraciją gali būti suskirstyti į tris grupes: 2 laidų, 3 laidų ir 4 laidų (7 pav.).

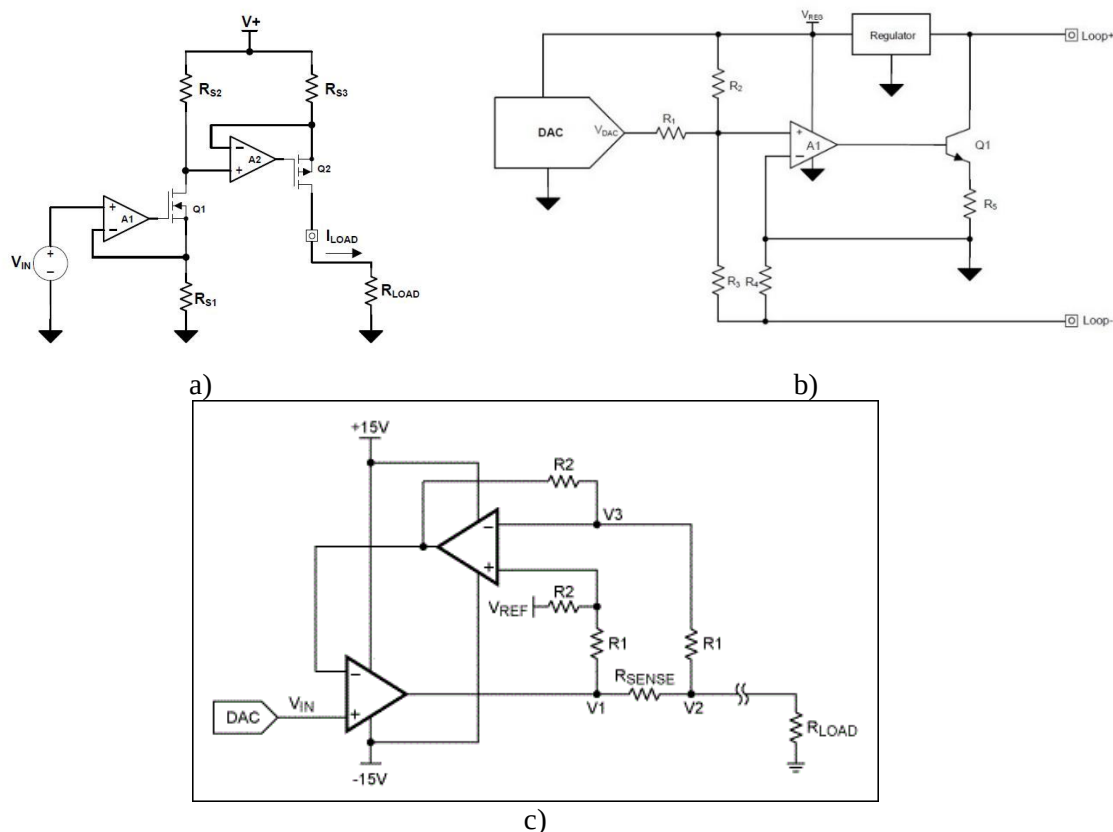


6 pav. Jutiklio įėjimo signalas ir siūstuvo išėjimo srovė [8]



7 pav. Siūstuvų pajungimo tipai [10]

Kai reikia perduoti informaciją iš nuotolinių jutiklių į centrinius procesorius arba iš tų centrinių blokų į nuotolines pavaras, tikslinga naudoti srovės kilpas (Gavardoni, 2010: 6). Kadangi, pramonėje dažniausiai yra naudojama 2 laidų pajungimo schema, toliau analizuojami srovės dvilaidės kilpos realizavimo variantai. Žemiau pateikti trys tokių kilpų schemų realizavimo variantai (8 pav. a), b), c)).

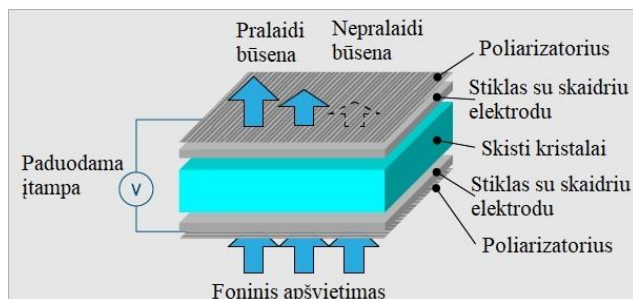


8 pav. Srovės kilpų schemų realizavimo variantai: a) 1 tipas: schema su vienu operaciniu stiprintuvu ir su dviem lauko tranzistoriais; b) 2 tipas: schema su vienu operaciniu stiprintuvu ir tranzistoriumi; c) 3 tipas: schema su operaciniu stiprintuvu, naudojant dvipolį maitinimą [8]

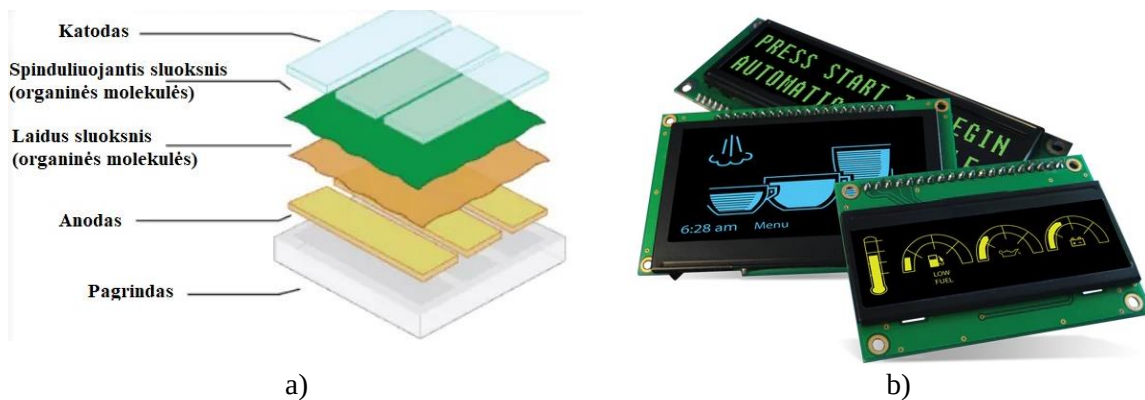
Daugiafunkcinio testavimo įrenginio išėjime tikslinga naudoti mikrovaldiklį su skaitmeniniu - analoginiu keitikliu DAC (angl. *Digital - Analog Converter*). Pagal tokius parametrus, kaip schemos pakartojamumas, vienpolis maitinimas, 0-3 V DAC įėjimas bei kompaktiškumas, dvilaidės srovės kilpos realizavimui geriausiai tinka 2-o tipo schema (su vienu operaciniu stiprintuvu ir tranzistoriumi).

Grafinės informacijos pateikimui būtina parinkti tinkamos technologijos ekraną.

Skystųjų kristalų ekranų LCD (angl. *Liquid Crystal Display*) technologijoje atskiri pikseliai moduliuoja šviesą. Jų kristalų medžiaga yra tarp dviejų stiklo lakštų (9 pav. a). Kiekvieno stiklo pagrindo išorinėje pusėje yra poliarizatoriai, o galinėje pusėje – foninio apšvietimo šaltinis. Įjungus įtampą, jie keičia kryptį ir pasisuka vertikaliai į stiklo paviršių. Taip atsiranda matomas vaizdas. Kaip pažymėjo ekranų gamintojas (Formike Group, 2022), vienas iš pagrindinių LCD ekranų trūkumų - ribotas regos kampas, sumažinantis vaizdo ryškumą ir kontrastą [6].



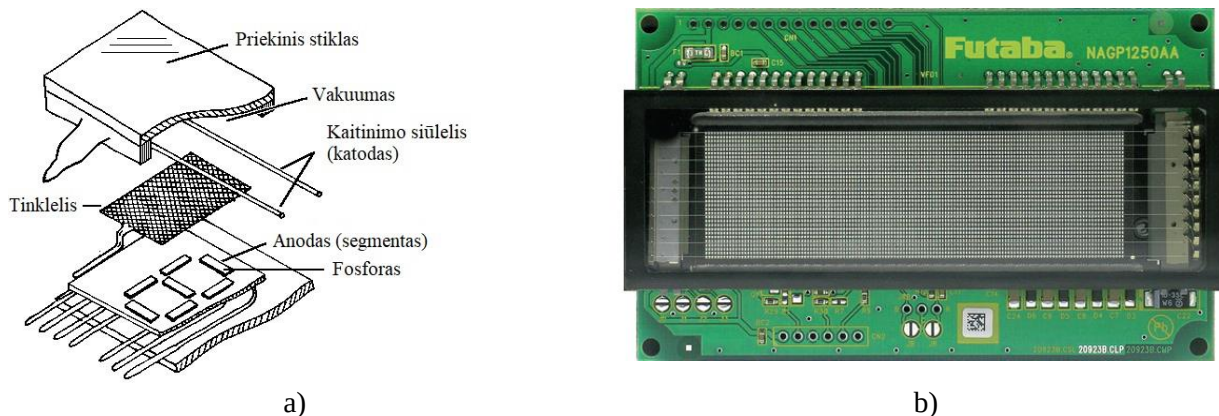
9 pav. a) LCD ekrano struktūra, b) LCD tipo grafinis ekranas [6]



10 pav. a) OLED ekrano struktūra, b) OLED tipo grafiniai ekranai [3, 13]

Organinių šviesos diodų (OLED) (angl. *Organic Light Emitting Diode*) ekranas susideda iš organinės medžiagos sluoksnio, esančio tarp dviejų elektrodų – anodo ir katodo (10 pav. a). Kai į juos patenka elektros srovė, organinės medžiagos sukuria ryškią elektroliuminescencinę šviesą. Kaip teigia eilė autorių (Chen ir kt., 2016; Tsujimura ir kt., 2006), reikšmingas OLED ekranų pranašumas, palyginus juos su tradiciniais LED ekranais - jiems nereikia foninio apšvietimo, nes šviesa spinduliuoja savaime iš organinių šviesos diodų. Tai užtikrina pakankamą ryškumą bet kurioje aplinkoje. OLED yra žymiai plonesni nei standartiniai LCD ekranai, sunaudoja mažiau energijos, turi platesnį regos kampą, puikų ryškumą ir kontrastą, lyginant su LCD [3, 13].

Vakuuminiai fluorescenciniai ekranai VFD (angl. *Vacuum Fluorescent Display*) susideda iš vakuuminio vamzdžio (11 pav. a), kuriame yra trys pagrindiniai elektrodai: kaitinimo siūlelis (katodas), anodas (segmentas) ir tinklelis. Kai tinkleliui ir anodui taikoma 12 – 25 V įtampa, katodo gijos skleidžiami elektronai pagreitėja ir pritraukiami prie teigiamų anodo segmentų, kurie savo ruožtu šviečia (Furr, 1997).



11 pav. a) VFD ekrano struktūra, b) VFD tipo grafinis ekranas [7]

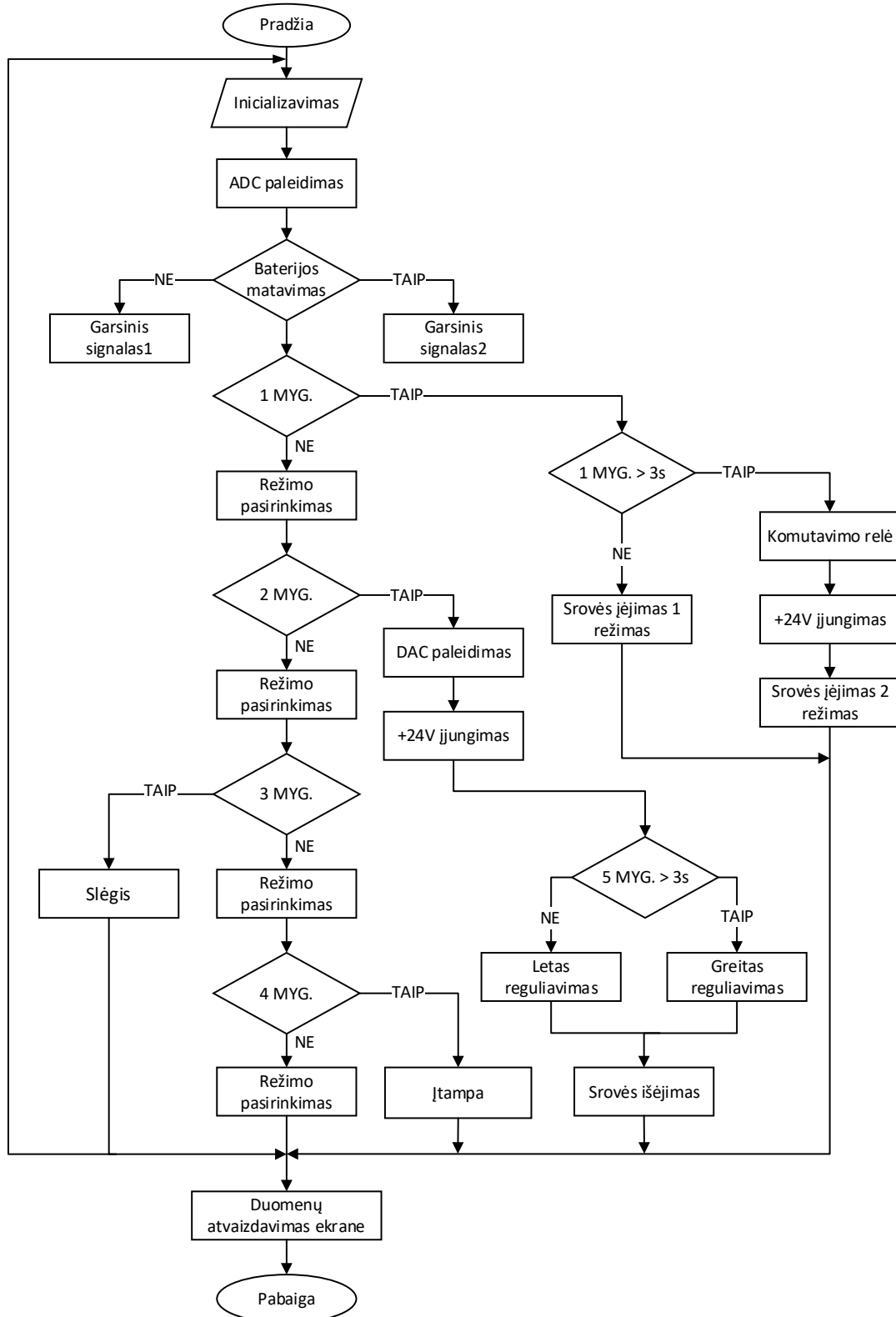
VFD ekranas taip pat yra savaime šviečiantis, kaip ir OLED. Viena iš svarbių šio tipo ekranų savybių yra didelis ryškumas ir geras kontrastas. Tačiau VFD dėl savo konstrukcijos yra storesnis už LCD ekraną. Taip pat jam reikia dviejų maitinimo šaltinių – pikselių ekranui ir kaitinimo siūleliui [5].

Atlikus grafinių ekranų analizę pagal tokius parametrus, kaip matomumą dienos šviesoje bei tamsoje, didelį matomumo kampą, greitą laiko atsaką, didelę skiriamąją gebą, mažas energijos sąnaudas bei kompaktiškumą, tinkamiausias yra OLED ekranas, nes užtikrina geriausias aukščiau išvardintas charakteristikas.

Daugiafunkcinio testavimo įrenginio praktinis realizavimas

Pagal tokio įrenginio atliekamas funkcijas, iš pradžių vyksta visų kintamųjų ir pagrindinių funkcijų iniciavimas (12 pav.). Taip pat įjungiamas OLED ekranas, prijungiama ekrano biblioteka ir, įjungus ADC keitiklį, tikrinama akumuliatoriaus baterijos įtampa. Sukuriamas „amžinasis ciklas“, parenkami reikiami režimai. Vartotojui paspaudus pirmąjį mygtuką, pradedamas srovės matavimas; jeigu šis mygtukas laikomas nuspauštas ilgiau nei 3 s, persijungia srovės įėjimo komutavimo relė ir įjungiamas 24 V įtampos keitiklis. Paspaudus antrąjį mygtuką, įsijungia DAC keitiklis, 24 V antrasis įtampos keitiklis ir srovės išėjimo funkcija.

Laikant mygtuką nuspaudus ilgiau nei 3 s, įsijungia greito srovės kitimo funkcija. Paspaudus trečiąjį mygtuką, matuojamas slėgis. Ketvirtasis mygtukas aktyvuoja įtampos matavimo funkciją (12 pav.).

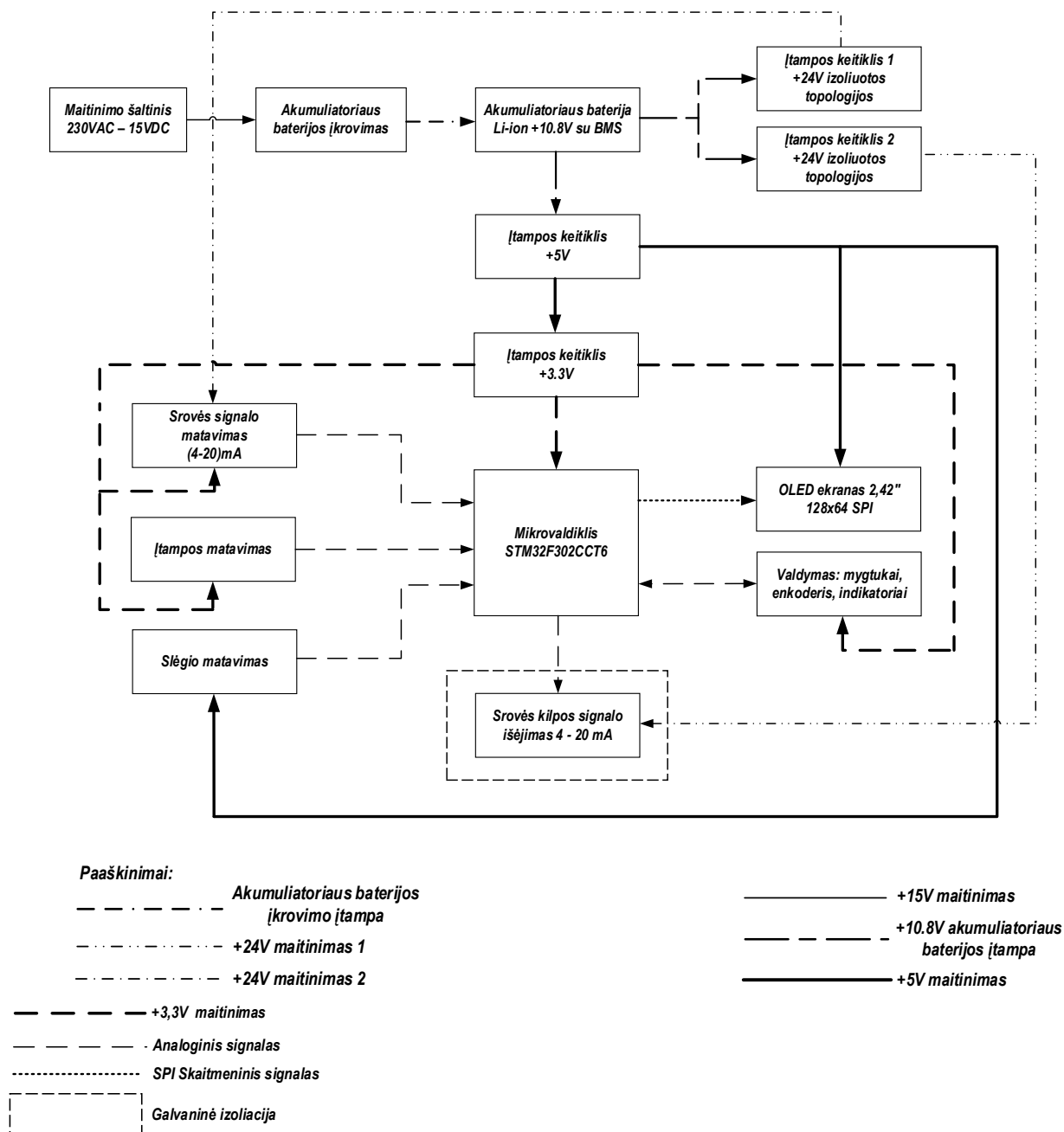


12 pav. Daugiafunkcinio testavimo įrenginio veikimo algoritmas

Šaltinis: sudaryta autorių

Pirminės patikros programa „STM32CubeIDE“ aplinkoje skirta visų pagrindinių įrenginio mazgų patikrai. Sukompiliuota programa su prijungtu per „SWD“ jungtį „ST – LINK“ programatoriumi įkeliama į įrenginio mikrovaldiklį.

Atsižvelgus į daugiafunkcinio testavimo įrenginio veikimo logiką, sudaryta jo struktūrinė schema (13 pav.).



13 pav. Daugiafunkcio testavimo įrenginio struktūrinė schema

Šaltinis: sudaryta autorių

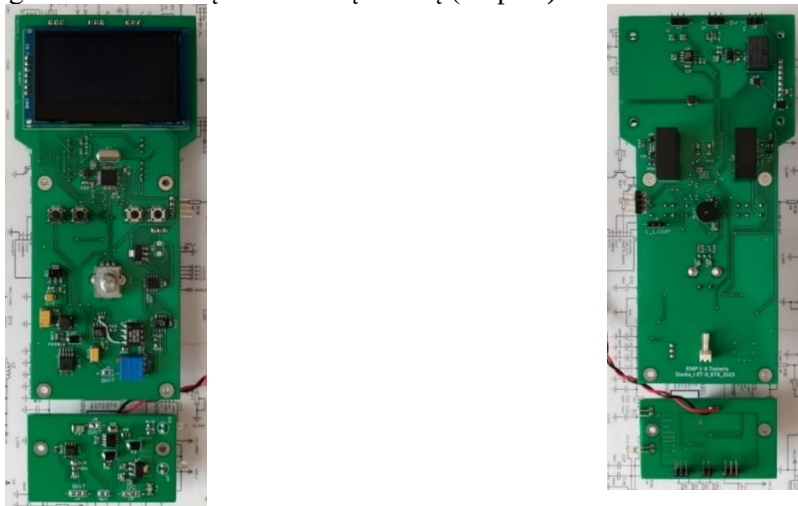
“Maitinimo šaltinis 230 V AC – 15 V DC” – tai impulsinis maitinimo šaltinis, paverčiantis kintamą 230 V įtampą į 15 V nuolatinę įtampą, ir yra skirtas akumuliatoriaus baterijos įkrovimo grandinei (13 pav.). “Akumuliatorius Li – ion 10,8 V su BMS” – 10,8 V ličio jonų akumuliatorinė baterija su akumuliatoriaus valdymo sistema BMS (angl. *Battery Management System*), skirta įrenginio maitinimui. “Įtampos keitiklis 1, 24 V izoliuotos topologijos” paverčia akumuliatoriaus įtampą į 24 V įtampą ir skirtas srovės kilpos įėjimo signalo maitinimui. “Įtampos keitiklis 2, 24 V izoliuotos topologijos” paverčia akumuliatoriaus įtampą į 24 V įtampą, ir skirtas srovės kilpos išėjimo signalui. “Įtampos keitiklis 5 V” paverčia akumuliatoriaus įtampą į 5 V įtampą, reikalingą ekranui ir slėgio jutikliui. “Įtampos keitiklis 3,3 V” paverčia akumuliatoriaus įtampą į 3,3 V įtampą, reikalingą mikrovaldikliui, operaciniams stiprintuvams ir valdymui. “Srovės signalo matavimas (4 – 20 mA)” – grandinės dalis, matuojanti ir keičianti srovės signalą į įtampą, paduodamą į mikrovaldiklio ADC keitiklio įėjimą. “Įtampos matavimas” skirtas matuoti nuolatinę įtampą, paduodamą į mikrovaldiklio ADC keitiklio įėjimą. “Slėgio matavimas” skirtas matuoti suspausto oro slėgį ir keisti jį į įtampą, paduodamą į mikrovaldiklio analoginio - skaitmeninio keitiklio įėjimą. “Mikrovaldiklis STM32F302CCT6” yra skirtas visų įėjimo ir išėjimo signalų apdorojimui ir informacijos išvedimui į OLED ekraną. “OLED ekranas, 2,4, 128x64 SPI” pateikia visą informaciją vartotojui bei leidžia keisti įrenginio

nustatymus. „Įrenginio valdymas“ galimas mygtukų, enkoderio, indikatorių pagalba. „Srovės kilpos signalo išėjimas (4 – 20 mA)“ keičia skaitmeninį signalą, užduodamą iš mikrovaldiklio, į analoginės srovės kilpos signalą (4 – 20 mA) (13 pav.).

Testavimo rezultatai ir jų analizė

Įrenginio testavimas ir derinimas atliktas „AB Achema“ Automatikos ceche elektronikos remonto skyriuje. Reikalingų prietaisų ir programinės įrangos sąrašas: multimetras – oscilografas „FLUKE 192“, signalų emuliatorius – kalibratorius „CALYS 1500“, suspausto oro slėgio stendas su etaloniniais slėgio jutikliais „KELLER PAA-33X“, laboratorinis maitinimo šaltinis „EA PS2332“, kompiuterinė programinė įranga „STM32CubeIDE“ ir „STM32CubeMX“ kartu su „ST – LINK/V2“ programatoriumi.

Sulitavus visus komponentus, vizualiai ir su multimetro pagalba, patikrinama ar nėra trumpojo jungimo tarp įrenginio PCB takelių ir elementų išvadų (14 pav.).



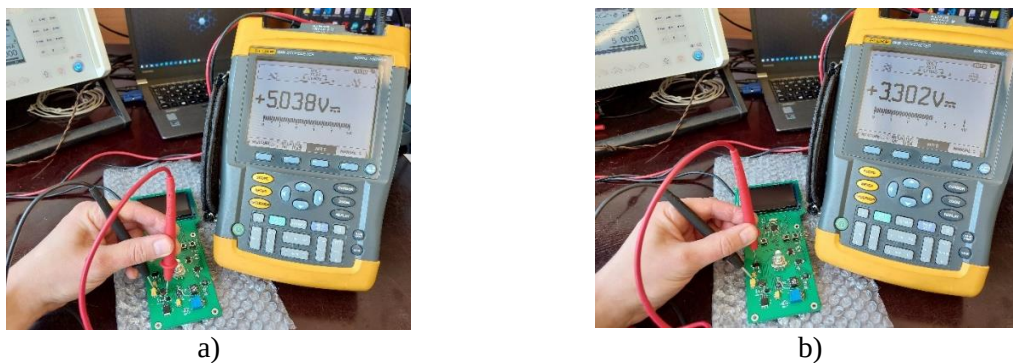
14 pav. Surinktos PCB: a) viršus, b) apačia

Šaltinis: sudaryta autorių

Po programos įkėlimo ekrane užkraunamas testavimo režimo vaizdas. Daugiafunkciniu testavimo įrenginiu atliekamas maitinimo įtampos, suspausto oro slėgio, srovės kilpos, įtampos matavimas. Maitinimo mazgų testavimo metu vietoj akumuliatoriaus baterijos prijungtas laboratorinis maitinimo šaltinis. Padavus 12 V nuolatinę įtampą, išmatuotos pagrindinės maitinimo įtampos 3.3 V ir 5 V (15 pav.). Kadangi 24 V įtampos keitikliai valdomi iš mikrovaldiklio, jų įtampų buvimas tikrinamas po mikrovaldiklio programavimo.

ADC keitiklyje užprogramuoti trys įėjimo kanalai, tad testuojamas kiekvienas jų atskirai. Prie pirmojo yra prijungtas slėgio jutiklis. Suspausto oro slėgio matavimas atliekamas pirmajame kanale tam skirtu stendu (16 pav.). Taip pat atliekamas 2-ojo kanalo testavimas – srovės kilpos įėjimo matavimas ir 3-io - nuolatinės įtampos matavimas.

Matuojant srovės kilpos įėjimą, signalų emuliatoriuje – kalibratoriuje „CALYS 1500“ pasirenkamas srovės (4 – 20 mA) kilpos generavimo režimas, o daugiafunkciniame testavimo įrenginyje - srovės kilpos matavimo režimas. ADC testavimo rezultatai ir apskaičiuotos paklaidos (1) pateikti 1-4 lentelėse.



a)

b)

15 pav. Maitinimo įtampų matavimas: a) 5 V, b) 3.3 V

Šaltinis: sudaryta autorių



16 pav. Suspausto oro slėgio matavimas testuojamu įrenginiu, veikiant stendo slėgio jutiklį

Šaltinis: sudaryta autorių

$$PP [\%] = ID - TD \cdot \frac{100}{MD}, \quad (1)$$

čia: PP – paklaida procentais, ID – išmatuotas dydis, TD – tikrasis dydis, MD – matavimų diapazonas.

1 lentelė

Maitinimo įtampos matavimai daugiafunkciniu testavimo įrenginiu

Schemos dalis	Nominali įtampa, V	Išmatuota įtampa, V
Ekrano ir slėgio jutiklio maitinimas	5	5,038
Mikrovaldiklio ir operacinių stiprintuvų maitinimas	3,3	3,002
Įtampos keitiklio srovės kilpos įėjimo signalo maitinimas	24	24,02
Įtampos keitiklio srovės kilpos išėjimo signalo maitinimas	24	23,96

Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelė

Suspausto oro slėgio matavimai daugiafunkciniu testavimo įrenginiu

Nominalus slėgis, bar	Išmatuotas slėgis, bar	Paklaida, bar	Paklaida, %
1,02	1,05	0,03	0,6
2,04	2,08	0,04	0,8
5,05	5,09	0,04	0,8

Šaltinis: sudaryta autorių

3 lentelė

Srovės kilpos įėjimo matavimai daugiafunkciniu testavimo įrenginiu

Nominali srovė, mA	Išmatuota srovė, mA	Paklaida, mA	Paklaida, %
4,00	4,08	0,08	0,5
12,00	12,06	0,06	0,38
20,00	20,04	0,04	0,25

Šaltinis: sudaryta autorių

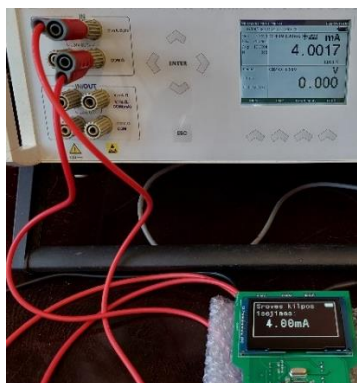
4 lentelė

Įtampos matavimai daugiafunkciniu testavimo įrenginiu

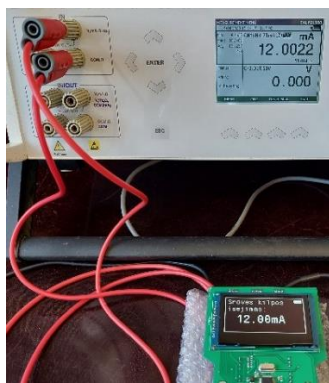
Nominali įtampa, V	Išmatuota įtampa, V	Paklaida, V	Paklaida, %
0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	9,89	0,11	0,11
20,00	20,18	0,18	0,6
30,00	30,22	0,22	0,73

Šaltinis: sudaryta autorių

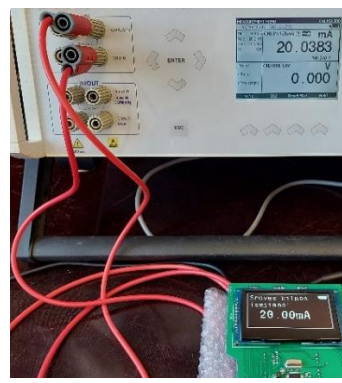
Testuojant DAC keitiklį, matuojamas srovės kilpos išėjimas (17 pav.). Šiuo atveju signalų emuliatoriuje – kalibratoriuje „CALYS 1500“ pasirenkamas srovės kilpos (4 mA – 20 mA) matavimas, o daugiafunkciniame testavimo įrenginyje - išėjimo signalo generavimas. Rezultatai pateikti 5 lentelėje.



a)



b)



c)

17 pav. Srovės kilpos išėjimo matavimas: a) 4 mA, b) 12 mA, c) 20 mA

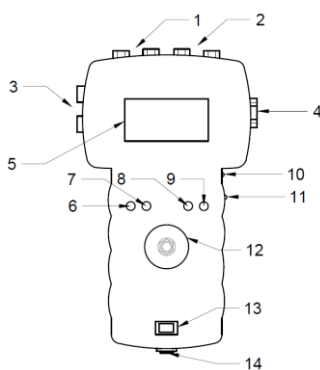
Šaltinis: sudaryta autorių

5 lentelė

Srovės kilpos išėjimo matavimai daigiafunkciniu testavimo įrenginiu

Nominali srovė, mA	Išmatuota srovė, mA	Paklaida, mA	Paklaida, %
4,00	4,017	0,017	0,11
12,00	12,002	0,02	0,125
20,00	20,038	0,038	0,24

Šaltinis: sudaryta autorių



18 pav. Daigiafunkcinio testavimo įrenginio prototipas: 1 – srovės kilpos matavimo jungtys, 2 – srovės kilpos išėjimo jungtys, 3 – įtampos matavimo jungtys, 4 – slėgio jutiklis, 5 – OLED ekranas, 6, 7, 8, 9– mygtukai, 10 – akumuliatoriaus baterijos įkrovimo pabaigos indikatorius, 11 – akumuliatoriaus baterijos įkrovimo indikatorius, 12 – skaitmeninis potenciomtras, 13 – įjungimo – išjungimo mygtukas, 14 – akumuliatoriaus baterijos įkrovimo lizdas.

Šaltinis: sudaryta autorių

Daugiafunkcinio testavimo įrenginio įjungimo metu tikslinga naudoti skaitmeninį potenciomtrą, kuris leistų pagreitinti mikrovaldiklio programos užkrovimą, nes tokiu atveju nereikia keisti darbo režimo. Taip pat matavimo ir išdavimo grandinėse tikslinga sumontuoti daugiau apsaugos elementų, saugančių nuo viršįtampių ir trumpųjų jungimų. Tai aktualu, kai sumaišomas matavimo gnybtų pajungimo poliariškumas testavimo įrenginio įjungimo metu, ar kai toje pačioje linijoje yra pajungtas maitinimo šaltinis. Be to, srovės kilpos matavimo grandinėje tikslinga sumontuoti papildomą operacinį stiprintuvą, siekiant sumažinti matavimų paklaidas, kai derinama diapazono pradžia ir pabaiga. Korpusas su IP64 apsaugos lygiu leistų šį diagnostikos įrenginį saugiai eksploatuoti įvairiose nepalankiose (su vandens garais, dulkėmis) gamybinėse aplinkose.

Išvados

1. Sukurto veikiančio daigiafunkcinio automatinų gamybinių sistemų pirminės diagnostikos įrenginio (prototipo) specifikacinės charakteristikos: srovės kilpos analoginio signalo matavimas ir generavimas 4 – 20 mA diapazone, aktyvus ir pasyvus srovės kilpos matavimo režimai, nuolatinės įtampos matavimas: 0 – 30 V, suspausto oro slėgio matavimas: 0 – 5 bar, 0,0615 m (2,42 colių), pasirinktas 128x64 pikselių rezoliucijos OLED ekranas, 2000 mAh talpos ličio jonų akumuliatoriaus baterija, akumuliatoriaus baterijos įkrovimas 2 A impulsiniu maitinimo šaltiniu: 15 V DC, srovės, įtampos ir slėgio matavimo paklaida – neviršija $\pm 1\%$.

2. Pagal matavimo ribas, tiesinę slėgio priklausomybę nuo įtampos, nejautrumą temperatūros pokyčiams, konstrukcijos tvirtumą ir kompaktiškumą nustatyta, kad suspausto oro matavimui tinkamiausi yra pjezovaržinis ir pjezoelektrinis jutikliai. Dviejų laidų srovės kilpos realizavimui pasirinkta schema su vienu operaciniu stiprintuvu ir tranzistoriumi užtikrina schemos paprastumą, vienpolį maitinimą, 0 - 3 V DAC įėjimo įtampą bei įrenginio kompaktiškumą. Palyginus grafinės informacijos technologijas pagal matomumą dienos šviesoje bei tamsoje, didelį matomumo kampą, greitą laiko atsaką, didelę skiriamąją gebą, mažas energijos sąnaudas bei kompaktiškumą, nustatyta, kad geriausiai tam tinka OLED grafinis ekranas.

3. Automatinių gamybos sistemų diegimo ir jų priežiūros optimizavimas pasiektas įdiegus vienalaikį srovės kilpos išdavimą ir reguliavimą 4 – 20 mA ribose. Įdiegti aktyvūs ir pasyvūs srovės kilpos matavimo režimai leido užtikrinti signalo pastovumą visoje matavimų grandinėje.

4. Testuojant prototipo funkcionalumą, svarbi pati testavimo trukmė, o ne atliktų matavimų kiekis. Testavimo trukmę pasirinkus iki 20 s, nustatyta, kad srovės kilpos matavimo paklaida siekė 0,5 %, srovės kilpos išėjimo signalo paklaida - 0,24 %, nuolatinės įtampos matavimo paklaida - 0,73 %, o slėgio matavimo paklaida - 0,8 %. Tai atitinka specifikacinius reikalavimus - neviršyti 1 %. Kadangi daugiafunkcinis įrenginys skirtas tik pirminei automatinės sistemos diagnostikai, tad tokio dydžio paklaida yra priimtina.

Literatūra

1. Automation Forum. How to Do the 4-20 mA Wiring? [žiūrėta 2023-01-06]. Prieiga internete: <https://automationforum.co/how-to-do-the-4-20ma-wiring/>.
2. Avnet Abacus. Pressure sensors: Design considerations and technology options [žiūrėta 2023-01-16]. Prieiga internete: [Pressure sensors: Design considerations and technology options \(avnet.com\)](https://www.avnet.com/pressure-sensors-design-considerations-and-technology-options/)
3. Chen J., Cranton W., Fihn M. Handbook of visual display technology, Springer, Cham, Switzerland, 2016.
4. Compatibility of Analog Signals for Electronic Industrial Process Instruments (Formerly ANSI/ISA S50.1-1982 (R1992)) [žiūrėta 2023-01-08]. Prieiga internete: <https://www.engineerebook.com/product/isa-50-1-1982-r1992/>
5. Farnell. Electrical & Electronic Testing [žiūrėta 2022-12-12]. Prieiga internete: [Electrical & Electronic Testing | Farnell Lietuva.](https://www.farnell.com/technical/electrical-and-electronic-testing/)
6. Formike Group. Display LCD [žiūrėta 2023-01-08]. Prieiga internete: <https://www.LCD-Display.html>.
7. Furr R. Electronic Displays, 1997 [žiūrėta 2022-12-12]. Prieiga internete: <https://www.vcalc.net/display2.htm>
8. Gavardoni M. How to Use High-Voltage and High-Current-Drive Op Amps in ± 20 mA or 4–20 mA Current-Loop Systems, 2010. [žiūrėta 2023-01-16]. Prieiga internete: <https://www.how-to-use-highvoltage-op-amps-in-currentloop-systems.html>
9. InstrumentationTools.com. 4–20 mA Process Control Loops [žiūrėta 2023-01-06]. Prieiga internete: <https://instrumentationtools.com/4-20-ma-process-control-loops/>
10. Kurtsevov Y. How to implement a 4-20 ma transmitter with the max12900, Maxim Integrated Products, 2014 [žiūrėta 2023-01-16]. Prieiga internete: [www.Transmitter with the MAX12900.](https://www.maximintegrated.com/en/design/featured-design-articles/4-20-ma-transmitter-with-max12900/)
11. Texas Instruments. High side V-I Converter Reference Design From 0 V to 2 V and 0 mA to 100 mA, 1 % Full-Scale Error [žiūrėta 2023-01-16]. Prieiga internete: <https://www.ti.com/tool/TIPD102>
12. Texas Instruments. Loop-powered 4-mA to 20-mA transmitter EMC and EMI-tested reference design [žiūrėta 2023-01-16]. Prieiga internete: <https://www.ti.com/tool/TIPD158>
13. Tsujimura T., Zhu W., Mizukoshi S., Mori N., Kawabe K., Kohno M., Onomura K. Design for the OLED as the Best Display Technology, OLEDs Asia 2006 Proceedings (2006).

OPTIMIZATION OF THE INSTALLATION AND ADJUSTMENT PROCESSES OF AUTOMATION SYSTEMS

Summary

There are a lot of control and measurement equipment is used for testing and debugging automation systems in manufacturing companies that operate automated production systems. Because many of these equipments can only measure or generate a signal at a time, the cost of servicing production systems increases and, at the same time, production efficiency decreases. Therefore, in order to optimize the installation and tuning processes of automation systems, a multi-functional testing device for the initial diagnostics of their functionality has been created. This device, which is capable of generating and measuring a current loop signal within the limits of 4-20 mA, has an active and passive current loop measurement modes, can control the output signal when different types of valves are combined. 2-wire scheme was implemented for connecting sensor data transmitters, a scheme with one operational amplifier and a transistor was selected for the output of the current loop, a piezoresistive sensor was selected for measuring compressed air pressure, and an OLED graphic screen was selected for data display. The results of the testing of the prototype device revealed that the errors of its measured parameters did not exceed the permissible error of ± 1 %, which is tolerable for the initial diagnostics of automatic systems.

KEY WORDS. Multi-functional testing device, automated production system, 4 – 20 mA current loop, pressure sensor, OLED.

PRAMONINĖS PASKIRTIES PASTATO SU HIBRIDINE SAULĖS ELEKTRINE DARBO TYRIMAS

Gediminas Daukšys, Ažuolas Macijauskas
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šiame darbe siekiama ištirti būdus ir metodus elektros energijos suvartojimo mažinimui pramoniniuose pastatuose. Tyrimo objektyvas apima elektros skaičiavimus, kurie leis nustatyti tinkamiausią saulės elektrinių pajėgumą įmonės poreikiams ir pasirinkti modulius bei automatines apsaugos priemones. Straipsnyje didelis dėmesys skiriamas nuolatinės ir kintamos srovės tinklams, taip pat patalpų apšvietimo planui. Tyrimo rezultatai pateiks sąlygas ir galimybes, leisiančias kiekvienai gamybos įmonei sumažinti savo energijos suvartojimą ir tapti efektyvia bei konkurencinga gamybos ir sandėliavimo sektoriuje.

Reikšminiai žodžiai: energijos taupymas, saulės elektrinė, saulės moduliai, inverteris.

Įvadas

Pasaulis tampa vis žalesnis, o atsinaujinantys energijos šaltiniai tampa vis labiau reikalingi. Europos direktyvų reikalavimų laikymasis tampa dideliu iššūkiu Lietuvai. Siekiant, kad visos Europos Sąjunga taptų klimato kaitai neutraliu regionu iki 2050 metų [4], atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas tapo vis dažnesnis. Viena iš tokių energijos šaltinių yra saulė, o energijos gamyba iš jos tampa vis pigesnė. Pavyzdžiui, dar 1979 metais vienas vatas instaliuotos saulės elektrinės kainavo 100 JAV dolerių, o 2019 metais – tik 0,38 USD už vatą. [8] Ir tobulėjant technologijoms, ši kaina tik dar labiau mažės. Lietuvoje dauguma instaliuotų saulės elektrinių priklauso mažiems, iki 30 kW galios, individualių vartotojų elektros gamybai. Tačiau vis labiau didėja paklausa iš verslo sektoriaus, nes siūloma parama ir skatinamos atsinaujinančios energijos šaltinių įrengimo galimybės [2], [5].

Tyrimo objektas – hibridinės saulės elektrinės pramoniniame pastate darbo tyrimas.

Darbo tikslas – suprojektuoti pramoninės paskirties pastato vidinį tinklą bei hibridinę saulės elektrinę ant pastato stogo.

Norint pasiekti šį tikslą, iškelti **uždaviniai**:

- Įvertinti pastato apkrovą ir nustatyti galios poreikius.
- Apskaičiuoti saulės elektrinės įrengimo parametrus bei parinkti reikiamus modulius bei keitiklių kiekius.
- Parinkti nuolatinės ir kintamosios srovės kabelius, apskaičiuoti jų nuostolius.
- Parinkti apsaugos prietaisus.

Esamo tinklo analizė

Numatomas objektas yra Anykščių rajone. Tai 2 aukštų pastatas. Pastato plotas 2052m². Pastatas naudojamas sunkios technikos laikymui, atsarginių dalių sandėliavimui, taip pat patalpomis naudojasi mechanikas, bei yra šiuo metu nenaudojamos ofiso patalpos (1 pav.).



1 pav. Pastato planas (saulės elektrinė bus statoma ant pastato Nr. 23E)

Stogo tipas – sutapdintas bituminis paviršius. Maksimalus pasvirimo kampas – iki 4 laipsnių. Stogas susideda iš 3, skirtingo aukščio dalių (2 pav.):

- Pirmoji stogo dalis - rytinė, 3.9 metro aukštyje, 478 m² ploto. Ši dalis yra užstojama aukštesnės dalies iš vakarų pusės, taigi ši stogo dalis preliminariai vertinama ne optimali įrenginėti saulės elektrinę.
- Antroji stogo dalis - centrinė, 9,3 metro aukštyje, 957 m² ploto. Ši stogo dalis saulės elektrinei įrengti vertinama palankiausiai, kadangi stogas yra iškilęs netgi aukščiau, negu aplinkoje esantys medžiai, pačią elektrinę galima bus orientuoti palei pastato pasisukimą - 209° azimute arba 29 laipsnių nuokrypiu nuo pietų krypties. Verta pabrėžti, jog esamos kliūtys galinčios šešėliuoti: kaminai iki pusantro metro aukščio, pietinėje pusėje - parapetas iki 0,7 metro aukščio.
- Likusi stogo dalis – 445 m². Esanti vakarinėje pastato dalyje, 4,1 m aukščio. Vertinama kaip pati neoptimaliausia, nes iš rytų užstoja aukščiausioji stogo dalis, o iš vakarų šešėliuoja prie pat esantys medžiai.



2 pav. Pastato stogo planas

Pastatas priklauso III elektros energijos tiekimo patikimumo kategorijai. Tai reiškia, jog šio tipo vartotojas yra aprūpinamas elektra iš vieno elektros šaltinio. Iš viso leistina naudoti galia – 100 kW.

Pagrindinę apkrovą sudaro dirbtuvėse esantis pramoninis suvirinimo aparatas – iki 11 kW galios, pramoninis kompresorius 5.5 kW galios, bei pastato apšvietimas.

Iš saulės elektrinės projektavimo dalies galėsime naudoti ant stogo pastatomas modulių montavimo konstrukcijas. Jų stabilumas užtvirtinamas su balansavimu - apskaičiuotu trinkelio dėliojimu ant konstrukcijos. Modulių energija tiekama į elektros keitiklį - inverterį. Jo galia apribota pagal įvado leidžiamą naudoti galią. Taip pat prieš pajungiant prie vidinio tinklo, kintamos įtampos pusėje, pastatomas automatinis jungiklis, likusiam elektros tinklui apsaugoti. Pagrindiniai darbai pastate vyksta dienos metu, bus siekiama kuo daugiau tiesioginio elektros suvartojimo iš saulės modulių.

Projektuojant vidinį tinklą bus parenkami kabelių storai, nustatomos apsaugos priemonės.

Hibridinės saulės elektrinės esminis privalumas – elektros padavimas į vidinį tinklą iš elektros kaupiklių dingus pagrindiniam elektros energijos šaltiniui. Projektavimo metu prie tinklo skyde planuojama įrengti mechaninę arba kompiuterinę logiką, kuri dingus elektrai paduotų įtampą tik į avarinio apšvietimo grandinę.

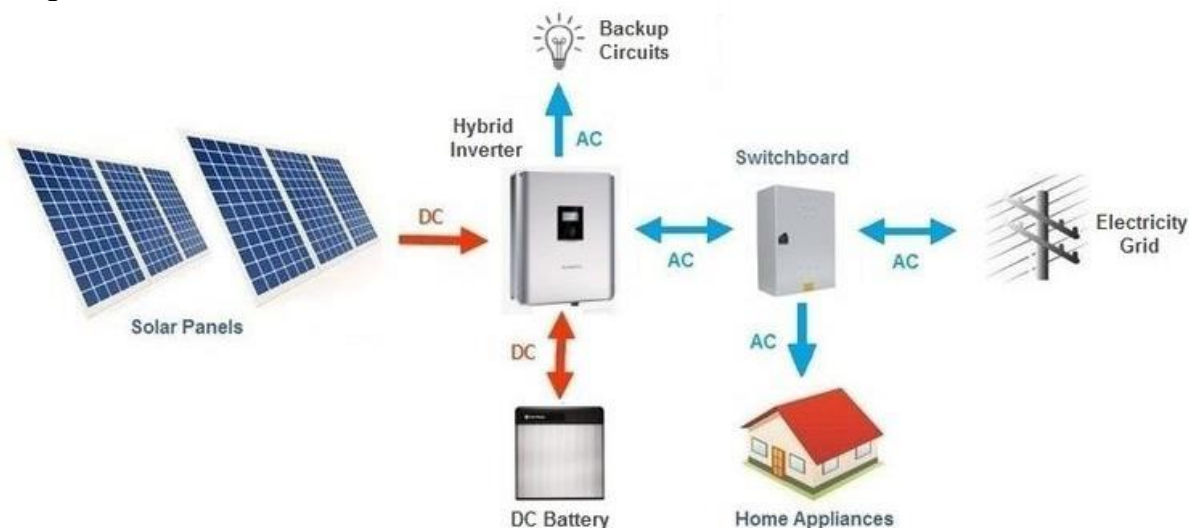
Šios projektuojamos avarinės sistemos su energijos kaupikliais privalumai:

- Momentinis galios tiekimas į avarinę grandinę, palyginus su dyzeliniu ar benzininiu generatoriumi. (benzininiai / dyzeliniai generatoriai reikalauja iki 60 sekundžių laiko pasiekti darbinį sūkių, kad būtų tiekama numatyta galia)
- Avariniai generatoriai turi reikalavimą kas 3-4 mėnesius būti tikrinami specialistų, o saulės elektrinės įkraunamų kaupiklių įtampą galime stebėti visą laiką.

Paprastą dieną ir esant pagrindiniam elektros tiekimui elektrinė būtų sukonfigūruota ir veiktų šiuo principu (3 pav.):

1. Įkraunami iki pilnos talpos elektros kaupikliai iš saulės modulių energijos.
2. Jeigu nėra elektros imtuvų, elektra parduodama į išorinį tinklą.
3. Jeigu atsiradęs suvartojimas pradeda viršyti modulių pagaminamą energiją, laikinai paduodama energija iš energijos kaupiklių.
4. Kaupiklių energiją leidžiama naudoti tol, kol nėra pasiekiamas energijos rezervas, skirtas avarinėms situacijoms.
5. Tuomet likusi reikalinga galia pradeda tiekti iš elektros tiekėjo.

6. Žiemos metu ar esant gedimui saulės modulių grandinėse, kaupiklių palaikymas iki rezervinės galios gali būti tiekiamas ir iš tinklo.

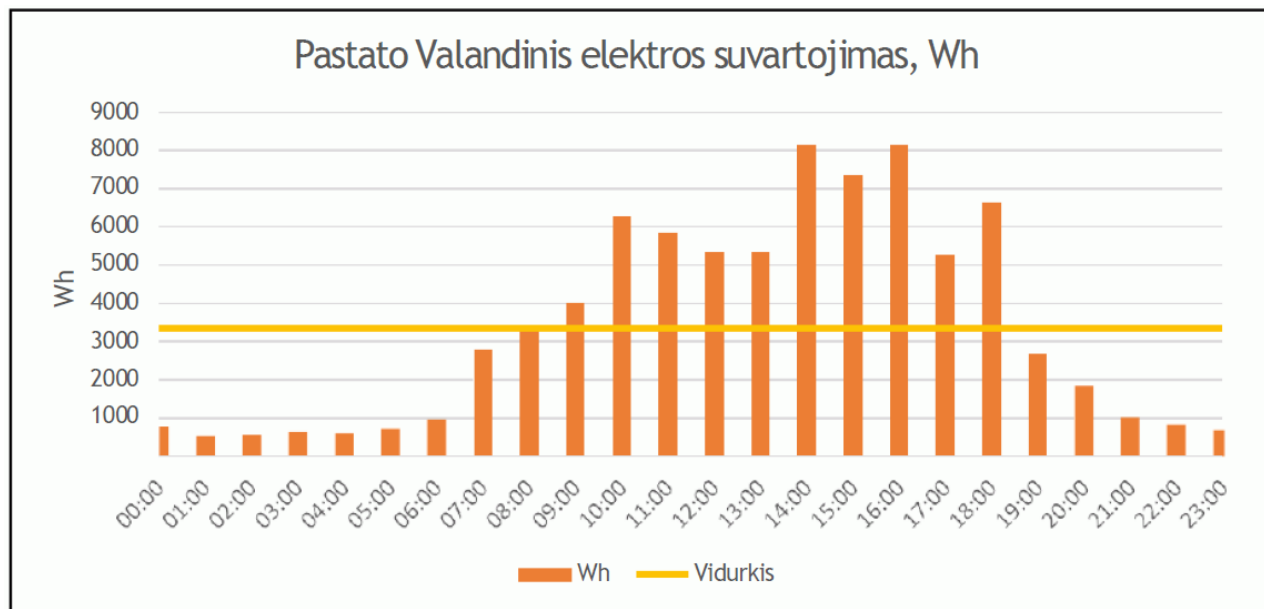


3 pav. Principinė hibridinės elektrinės su avarine elektros grandine schema

Labai pravartu pabrėžti, jog ateityje, kaip planuojama, bus atsisakyta “elektros pasaugojimo” ir elektros skaitikliai bus surišti su rinkos kaina valandiniu tikslumu. Šiuo atveju tai reikš jog kaupiklius galima bus užprogramuoti pakrauti pačia palankiausia kaina [7].

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Pastato vidutinis elektros suvartojimas per dieną yra apie 80 kWh, tai – 29200 kWh per metus (4 pav.). Grubiai skaičiuojant, kaip siūlo Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, „1 kW įrengtosios galios saulės elektrinė vidutiniškai pagamina apie 1026 kWh elektros energijos per metus“[2], tad mūsų poreikiams patenkinti projektuosime elektrinę 30 kW.



4 pav. Pastato valandinis elektros suvartojimas

Pagrindinės apkrovos vertos įsivertinti - tai dirbtuvėse esantis pramoninis suvirinimo aparatas – iki 11kW galios, pramoninis kompresorius 5.5 kW galios, bei pastato apšvietimas. Atsižvelgiant į galingiausių prietaisų ir imtuvų galią, hibridinei elektrinei parenkamas 20 kWh elektros energijos kaupiklis. Jis autonomiškai įsijungs ir tiekis energija iš hibridinės elektrinės esant energijos tiekimo sutrikimams.

Parinkti fotovoltiniai moduliai – „Trina solar“ (Kinija) naujos serijos „Vertex S“ monokristaliniai moduliai „TSM-405 DE09.08“, 405W . Gamintojo teigimu, šie moduliai po 25 metų eksploatacinio laikotarpio išlaikys 84,8 % savo nominalios galios. Šiuos modulius pasirenkame dėl geriausio galios ir kainos

santykio – 0,45 centai už vieną vatą. Norėdami apskaičiuoti didžiausią leidžiamą modulių skaičių vienoje įtampos keitiklio grandinėje įprastai naudojamos šiomis formulėmis [4], [6]:

$$\Delta t * U_{oc} = x\% \quad (1)$$

čia: Δt - didžiausias temperatūros pokytis nuo standartinių darbo sąlygų (25°C), °C; U_{oc} - temperatūros pokyčio koeficientas, gaunamas iš gamintojo deklaruojamų techninių modulio specifikacijų, %/°C; $x\%$ - gaunama procentinė vieno modulio įtampos pokyčio reikšmė, %.

$$V_{oc(stc)} + \frac{V_{oc(stc)} * x\%}{100} = V_{max} \quad (2)$$

čia $V_{oc(stc)}$ – Modulio atviros grandinės įtampa standartinėmis sąlygomis, V; V_{max} – didžiausia galima vieno modulio įtampa, V.

Belieka apskaičiuoti modulių skaičių Mod_{Max} :

$$\frac{U_{grandinėsMAX}}{V_{max}} = Mod_{Max} \quad (3)$$

čia $U_{grandinėsMAX}$ – didžiausia inverterio gamintojo leidžiama nuolatinė įtampa modulių pusėje, V;

Apskaičiuojamos vertės su mūsų pasirinktais moduliais. „TSM-405 DE09.08“ modulių atviros grandinės įtampa yra 41,4 voltų, temperatūrinis įtampos koeficientas: -0,25%/K. Lietuvoje rekomenduojama žemiausia temperatūra yra minus 25 laipsniai. Taigi mūsų $\Delta t = -50$. Įsistatome į formules:

$$x\% = -50 * -0,25 = 12,5\% \quad (4)$$

$$41,4 + \frac{41,4 * 12,5}{100} = 46,538V \quad (5)$$

Įprasta didžiausia leidžiama vertė nuolatinės įtampos keitiklio dalyje – 1000V.

$$\frac{1000}{46,538} = 21,488 \text{ mod} \quad (6)$$

Gauname 21 modulį grandinėje. Leidžiamų modulių skaičius paskaičiuojamas pagal gamintojo 405 W. Moduliams yra rekomenduojami S440 optimizatoriai. Pagal dokumentaciją jų gali būti nuo 16 iki 50 [7].

„SolarEdge“ Šiuo metu siūlo inverterius su energijos kaupikliais iki 10kW. Kadangi mūsų energijos poreikis yra didesnis, renkamės ir antrą inverterį, kuris veiks nuosekliai, tačiau be energijos kaupiklio. Modulus prie inverterių jungiame į tokias grandines:

- SE10K-RWS (10kW inverteris) – viena grandinė 30 modulių;
- SE17K (17kW inverteris) – dvi grandinės po 22 modulius.

Pirmojo ir antrojo inverterio grandinės galia:

$$Mod_{sk} * Mod_p = 30 * 405 = 12150W = 12,15kW \quad (7)$$

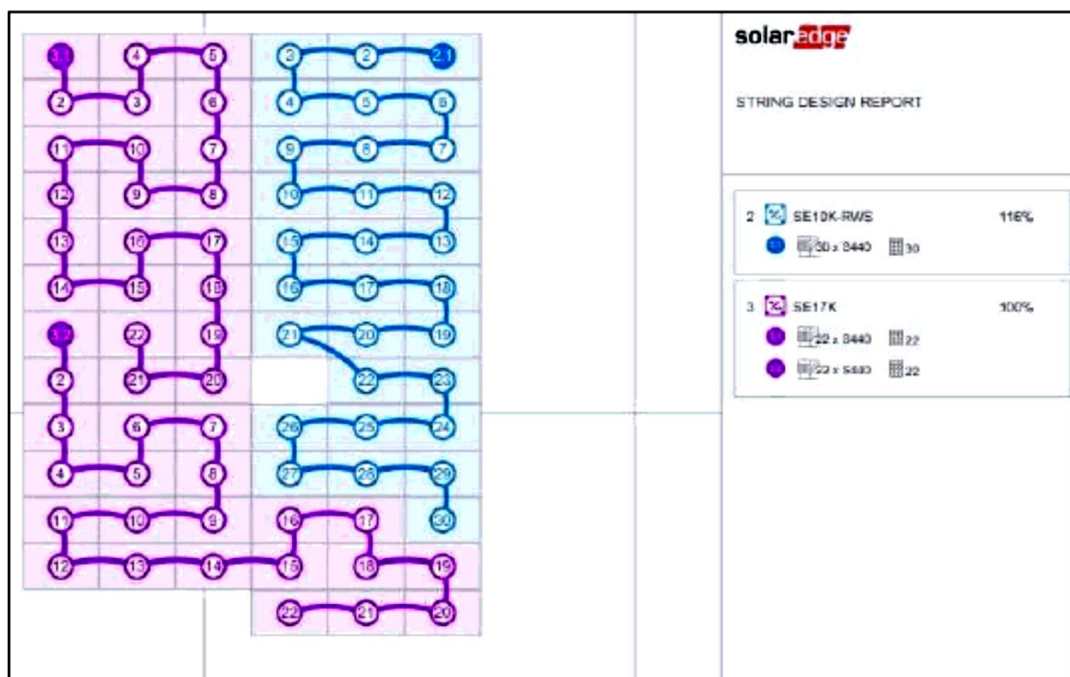
$$Mod_{sk} * Mod_p = 22 * 405 = 8910W = 8,91kW \quad (8)$$

SolarEdge“ sistema normaliu režimu veikia 750V įtampoje, todėl skaičiuojant grandinės srovės laikysime $U_{const.} = 750V$. Pirmojo ir antrojo inverterio grandinės srovė:

$$\frac{P_{grandinės1}}{U_{const}} = \frac{12150}{750} = 16,2A \quad (9)$$

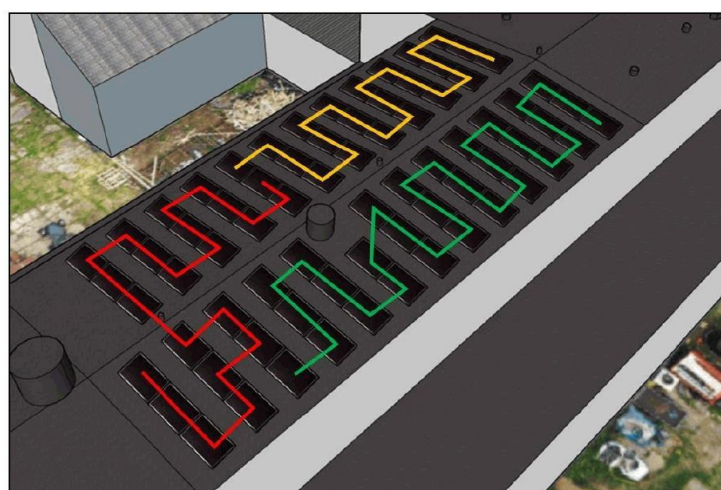
$$\frac{P_{grandinės2-3}}{U_{const}} = \frac{8910}{750} = 11,88A \quad (10)$$

Projektuojamų grandinių sujungimo patikra buvo atlikta su „SolarEdge Designer“ programa. Galime matyti, jog šis išdėstymas yra leidžiamas ir išpildome visus įrangos reikalavimus (5 pav.).



5 pav. Saulės elektrinės modulių jungimo schemos patikra (SolarEdge Designer)

Saulės moduliai yra sugrupuoti į tris skirtingas grupes (žr. 6 pav.), o nuo kiekvienos grupės iki įtampos keitiklio eina po du Cu 1x4 mm² kabelius – vienas teigiamo, kitas neigiamo poliškumo.



6 pav. Saulės modulių grupavimas

Apskaičiuosime įtampos nuostolius siekiant užtikrinti, kad jie neviršytų 10 %.

$$R_{1.1} = R_k * l_{1.1} = 5,09 * 0,012 = 0,06108\Omega; \quad (11)$$

čia $R_{1.1}$ – pirmos grupės, teigiamo polio, kabelio varža, Ω ; $l_{1.1}$ – kabelio ilgis, m; R_k – kabelio varža, Ω/km .

Įtampos kritimas voltais (ΔU) ir procentais ($\Delta U\%$):

$$\Delta U_{1.1} = I_1 * R_{1.1} = 16,2 * 0,06108 = 0,989V; \quad (12)$$

$$\Delta U_{\%1.1} = \frac{\Delta U_{1.1}}{U_1} * 100\% = \frac{0,989}{750} * 100\% = 0,132\% \quad (13)$$

Gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Įtampos nuostolių skaičiavimo rezultatai

Pirmos grandinės kabelio parametrai						Antros grandinės kabelio parametrai					
Teigiamas polius			Neigiamas polius			Teigiamas polius			Neigiamas polius		
$R_{1.1}, \Omega$	$U_{1.1}, V$	$\Delta U_{1.1}, \%$	$R_{1.2}, \Omega$	$U_{1.2}, V$	$\Delta U_{1.2}, \%$	$R_{2.1}, \Omega$	$U_{2.1}, V$	$\Delta U_{2.1}, \%$	$R_{2.2}, \Omega$	$U_{2.2}, V$	$\Delta U_{2.2}, \%$
0,061	0,989	0,132	0,127	2,062	0,275	0,092	1,088	0,145	0,137	1,632	0,218

Trečios grandinės kabelio parametrai					
Teigiamas polius			Neigiamas polius		
$R_{3,1}, \Omega$	$U_{3,1}, V$	$\Delta U_{3,1}, \%$	$R_{3,2}, \Omega$	$U_{3,2}, V$	$\Delta U_{3,2}, \%$
0,051	0,605	0,081	0,087	1,028	0,137

Iš inverterio į kintamą tinklą atitinkamai parinkti kabeliai, pirmam inverteriui 4mm², antram – 6mm² variniai. Parenkami viršįtampių ribotuvai, apsaugai nuo žaibo, pagal kabelio išėjimo įtampą. Kabelių išėjimo įtampa 750V. Parinktas viršįtampių ribotuvas ETI gamintojo, modelis „ETITEC M T2 PV 1100/20Y“ [1]. Jo maksimali įtampa 1100V. Kintamosios srovės dalyje parenkami automatiniai jungikliai pagal maksimalias įtampos keitiklio išėjimo sroves. Gamintojo „Schneider Electric“ modeliai „A9F84320“ 20A ir „A9K02332“ 32A.

Išvados

1. Įvertintos metinės apkrovos kas valandą, nustatyta, jog bendras vidutinis metinis poreikis – 29200kWh. Palankiausia vieta SE instaliavimui – aukščiausiaji stogo plokštuma, ant kurios suprojektavome 74 vnt. saulės modulius. Jų generuojama galia per metus tenkintų metinį elektros energijos poreikį.
2. Įvertinus modulių išdėstymo galimybes, sumodeliuota 29,6 kW galios hibridinė saulės elektrinė. Parinkti „Trina Solar TSM-405 DE09.08“, saulės moduliai, kurio vieno galia - 405 W. Elektros energijos keitimui iš nuolatinės į kintamą parinkti „SolarEdge“ SE serijos 10 ir 17 kW keitikliai, o hibridinės elektrinės energijos kaupimui - 20 kWh energijos kaupiklis.
3. Parinkti nuolatinės įtampos Cu 1x4mm² ir Cu 1x6mm² kabeliai, kuriuose didžiausi įtampos nuostoliai nesiekia 1,45%. Taip pat parinkti ir kintamosios įtampos variniai kabeliai 5x4mm², 5x6mm² bei 5x16mm², bei S440 modulių galios optimizatoriai.
4. Tinklo kabeliams apsaugoti nuo trumpojo jungimo ir perkrovos parinkti C20 ir C32 srovės automatiniai jungikliai bei viršįtampių ribotuvai ETITEC M T2 PV 1100/20Y.

Literatūra

1. Apsaugos nuo žaibo standartas. Prieiga per internetą. [žiūrėta 2023-02-19]. Prieinama: <https://www.lsp-international.com/lt/bs-en-iec-62305-lightning-protection-standard/>
2. Dažniausiai užduodami klausimai apie elektrą gaminančius vartotojus. Prieiga per internetą. [žiūrėta 2023-02-19]. Prieinama: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantysenergijos-istekliai/elektros-energija-gaminantys-vartotojai/dazniausiai-uzduodamiklausimai-apie-elektra-gaminancius-vartotojus>
3. Europos Komisija. "Švari mūsų visų planeta: Strateginė klestinčios, modernios ir konkurencingos neutralizuoto poveikio klimatui Europos ekonomikos ateities vizija." Prieiga per internetą. [žiūrėta 2023-02-19]. Prieinama: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/LT/TXT/?uri=CELEX:52018DC0773>.
4. Kytra S. Atsinaujinantys energijos šaltiniai: vadovėlis aukštosioms mokykloms. Kauno technologijos universitetas. 2006 m. 301 p.
5. Lietuvos statistikos departamentas. "Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimas. Elektros galia." Prieiga per internetą. [žiūrėta 2023-02-10]. Prieinama: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize>.
6. Muliuolis G. Skirstomųjų elektros tinklų projektavimas. Mokomoji knyga. Šiaulių valstybinė kolegija. 2010
7. "POWER OPTIMIZERS: EVERYTHING YOU NEED TO KNOW" [žiūrėta 2020 04 25]. Prieiga per internetą: <https://www.solaris-shop.com/blog/power-optimizers-everythingyou-need-to-know/>
8. "US dollars per Watt, adjusted for inflation. Solar installation." Prieiga per internetą. [žiūrėta 2023-02-10]. Prieinama: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices/>.

INVESTIGATION THE ELECTRICAL NETWORK OF AN INDUSTRIAL BUILDING WITH A HYBRID SOLAR POWER PLANT

Summary

At this study is carried out to investigate ways and methods to reduce electricity consumption in industrial premises. This thesis aims to identify and propose options for saving and reducing electricity consumption in the research facility. The work includes electrical calculations to determine the most suitable capacity of the solar power plant for the company and the selection of modules, new lighting fixtures, and automatic protection measures in the power and lighting network. Diagrams of the DC and AC solar power plant were drawn up and drawings of the layout of the power plant and luminaires on site were provided. The work also includes an assessment of the safety and ecological solutions for the work, and the selection of earthing and lightning protection devices.

The conditions and options proposed to enable each production company to reduce its energy consumption and become an efficient and competitive company in the production and storage sector.

Keywords: Solar power plant, solar modules, inverter.

20 MW VĖJO JĖGAINIŲ PARKO PRIJUNGIMO PRIE ELEKTROS TINKLO DARBO TYRIMAS

Gediminas Daukšys, Žuvininkas Herbertas
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Lietuvoje nėra pakankamo kiekio dujų, elektros energijos ir naftos produktų resursų, vis labiau investuojama į naujus, alternatyvius energetinius šaltinius. Šiame darbe formuluojamas probleminis klausimas: kaip patikimai, efektyviai ir ekonomiškai tiekti elektros energiją vartotojams iš naujai pastatyto 20 MW vėjo jėgainių parko?

Reikšminiai žodžiai: transformatorių pastotė, vėjo elektrinė, oro linija, elektros tinklas.

Ivadas

Šių dienų pasaulyje kokybiškai tiekama elektros energija vertinama kaip niekada anksčiau. Žmonijos tobulėjimas vis labiau priklauso nuo elektrinių prietaisų, todėl akivaizdžiai pastebimas ir didesnis elektros suvartojimas pasaulyje, taip pat ir Lietuvos suvartotos energijos kiekis per metus vis didėja. Remiantis Lietuvos perdavimo sistemos operatoriaus LITGRID duomenimis, 2022 metais bendras elektros energijos suvartojimas pasiekė 10,47 TWh. Pastebima, kad kasmetinis elektros suvartojimas vis auga [8]. Šie duomenys ne tik Lietuvos, bet ir pasaulio mastu skatina didinti elektros tinklų pralaidumą, patikimumą bei plėtrą. Svarbu paminėti, kad siekiant mažinti „šiltnamio efektą“ didinančių dujų išskyrimą gaminant elektros energiją vis labiau kryptama į atsinaujinančius elektros energijos šaltinius kaip vėjo ir saulės elektrines. Pastaruoju metu ganėtinai sparčiai augančios elektros energijos kainos verčia įmones ieškoti pigesnių alternatyvų, galinčių pakeisti iš elektros tiekėjų gaunamą elektros energiją. Tokiais atvejais įmonės pradeda svarstyti apie naudojamų įrenginių galimumų mažinimą ar atsinaujinančių energijos šaltinių įdiegimą bent dalies elektros energijos poreikiui patenkinti.

Tyrimo objektas - vėjo jėgainių parko prijungimas prie perdavimo tinklo.

Darbo tikslas – išanalizuoti vėjo jėgainių parko darbą ir parinkti transformatorių pastotės įrenginius.

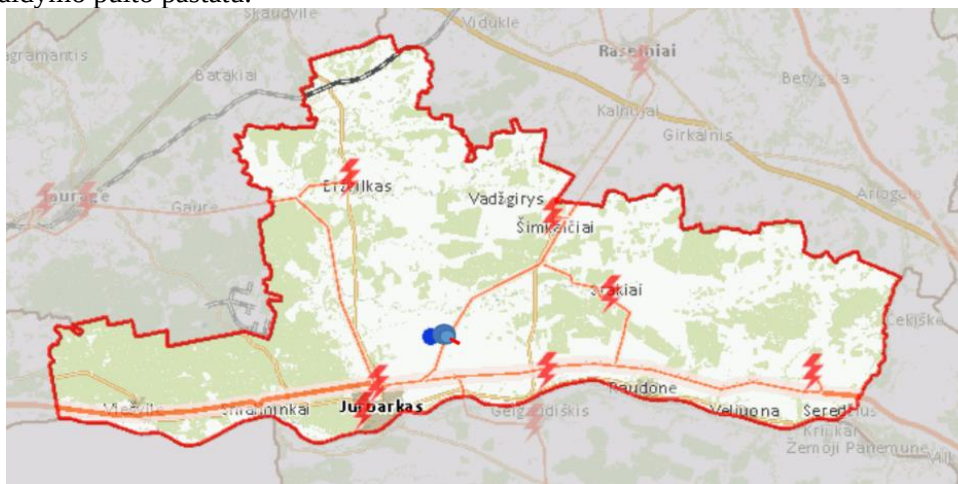
Tikslui pasiekti keliama tokie uždaviniai:

1. Išanalizuoti vėjo jėgainių parko vietą ir šalia esantį perdavimo tinklą
2. Atlikti trumpojo jungimo srovių skaičiavimus.
3. Parinkti pastotės įrenginius, komutacinius aparatus bei kabelius.

Esamo tinklo analizė

Numatomas vėjo jėgainių parkas stovės Rotulių ir Geišių kaimuose, Jurbarko rajonas. Jį sudarys 4 generatoriai po 5 MW.

Numatyta pastatyti naujos kartos 110/20 kV transformatorių pastotę (TP), kuri bus prijungta prie perdavimo tinklo. Planuojama TP prijungti prie 110kV oro linijos „Jurbarkas-Raseiniai“ (1 paveikslas), nes ši oro linija yra artimiausia numatyto objekto vietos. TP prijungimui reikalinga demontuoti esančią perdavimo linijos „Jurbarkas-Raseiniai“ atramą ir ją pakeisti į inkarinę atsišakojančią atramą. Atliekant pakeitimo darbus svarbu išsaugoti esamą žaibosaugą su šviesolaidiniu kabeliu. TP numatoma atviro tipo su moduliniu valdymo pulto pastatu.



1 pav. 110 kV oro linijos Jurbarko rajono savivaldybėje. Apskritimas žymi vėjo elektrinės vietą

110/20 kV TP planuojamas įrengti dviejų apvijų 25 MVA galios transformatorius su 110 kV ir 20 kV vardinėmis įtampomis. 25 MVA galios transformatorius įrengiamas su rezervu ateityje praplėsti parką iki 24 MW. Taip pat numatoma sumontuoti galios transformatoriaus 110 kV neutralės žemiklį, 20 kV neutralės žeminimo varžą bei 20 kV savųjų reikių galios transformatorių.

Montuojant įrenginius būtina vadovautis gamyklinėmis įrenginių montavimo instrukcijomis, taip pat “Elektros įrenginių įrengimo taisyklių” reikalavimais [3]. 110 kV įrenginiai montuojami ant plieninių karštai cinkuotų metalo konstrukcijų, pastatytų ant gelžbetoninių pamatų. Visi atstumai nuo 110 kV plieno-aliuminio laidų turinčių įtampą iki įvairių atvirosios skirstyklos elementų turi būti ne mažesni, kaip nurodyta EIT (elektros įrenginių įrengimo taisyklės).

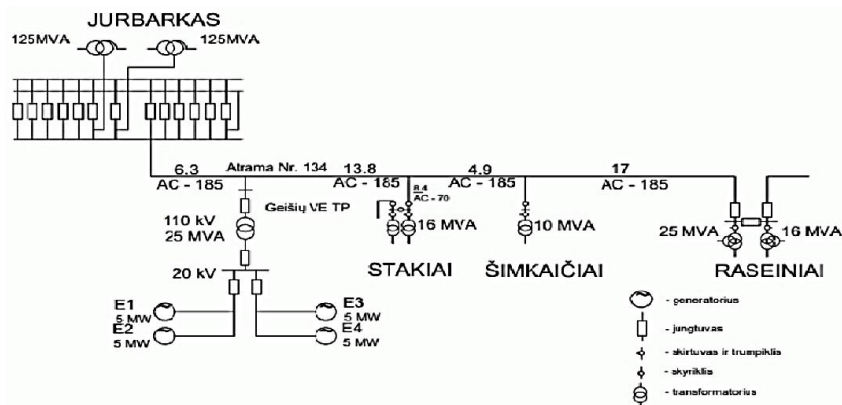
Norint užtikrinti aptarnaujančio personalo saugumą nuo galinčios atsirasti įtampos ant metalinių įrenginių korpusų ir jų metalinių atramų bei nuo žingsnio įtampos poveikio, pastotės teritorijos dalyje, iš horizontaliai jungiamaisiais laidininkais, įrengiamas žeminimo kontūras. Šiuo atveju pastotės tvora prie bendro žeminimo kontūro nejungiama, bet žeminama atskirai.

Kintamos srovės 110/20 kV TP savų reikių maitinimui projektuojamas vienas 50 kVA 20/0,4 kV transformatorius. 110/20 kV TP įrenginių maitinimui projektuojamas kintamos srovės 400/230 V skydas su viena paskirstymo šynų sekcija, įvadiniai ir sekiniai automatiniai jungikliai su srovės atkirta, maksimalios srovės apsauga su laiko uždelsimu. Savoms reikmėms suvartotos elektros energijos apskaitai numatomas elektros skaitiklis, kurį numatoma sumontuoti uždaroje skirstykloje, apskaitos spintoje.

Nuolatinės srovės savų reikių skydo projektinę apkrovą sudarys: 20 kV relinės apsaugos ir valdymo terminalai, ryšio įranga, avarinis patalpų apšvietimas, transformatoriaus aušinimo sistemos signalizacija bei valdymo pulto apskaitos valdiklio maitinimas, akumuliatorių įkrovikliai [4].

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

VE prie 110 kV perdavimo linijos “Jurbarkas-Raseiniai” prijungiama aukštinančiąja pastote. Prijungimui įgyvendinti reikia demontuoti atramą Nr.134 esančią “Jurbarkas-Raseiniai” atkarpoje ir ją pakeisti inkarine atsišakojimo atrama. Prie linijos “Jurbarkas-Raseiniai” prijungta Raseinių, Šimkaičių ir Stakių pastotės, kurios sujungtos AS-185 laidais. Linija “Jurbarkas-Raseiniai” užmaitinama iš Jurbarko pusės. (2 pav).



2 pav. Linija Jurbarkas – Raseiniai su vėjo elektrinių parku

Vėjo elektrinių parke sumontuota įranga kompensuojanti reaktyviąją galią, tai užtikrina, jog $\cos \varphi$ būtų lygus 1. Todėl, transformatoriaus pilnutinis apkrovimas lygus 20 MVA. Į tinklą tiekiamas srautas $20+j0$ MVA.

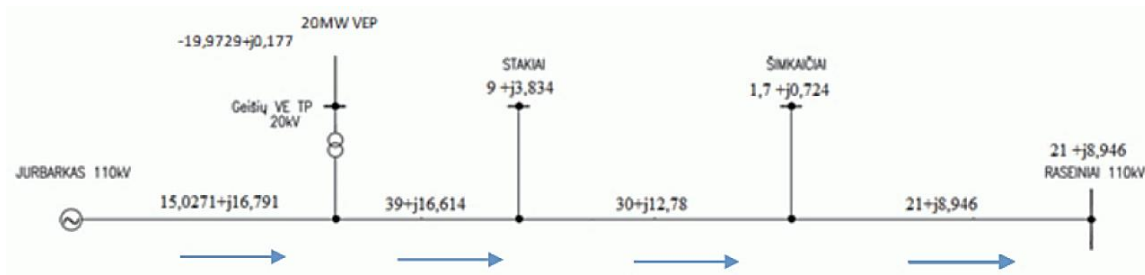
Siekiant užtikrinti, kad prijungiamas VE parkas nedarys žalos linijai, prie kurios bus prijungiamas, reikia apskaičiuoti galios srautų pasiskirstymą linijoje. Pagal AB Litgrid pateiktus duomenis matome, kad visų pastočių aktyvinė apkrova skirtinga: Raseiniai – 21 MW, Stakiai – 9 MW, Šimkaičiai – 1,7 MW, tinklo $\cos \varphi = 0,92$. Surandame vartotojų galias:

$$S_{(Raseiniai)} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{21}{0,92} = 22.826 \text{ MVA} \quad (1)$$

$$Q_{(Raseiniai)} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{22.826^2 - 21^2} = 8.946 \text{ MVar} \quad (2)$$

$$S_{(Raseiniai)} = P_{(Raseiniai)} + jQ_{(Raseiniai)} = 21 + j8.946 \text{ MVA} \quad (3)$$

Pateikiamas galios srautų pasiskirstymas normaliu darbo režimu:



3 pav. Galios srautų pasiskirstymas normaliu darbo režimu

Normaliu darbo režimu labiausiai apkrauta atkarpa yra Geišiai (VE) – Stakiai, vyraujanti galia – $39+j16,614 \text{ MVA}$. Maksimali srovė normaliu darbo režimu:

$$S_{Maks.norm.} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{39^2 + 16,614^2} = 42,39 \text{ MVA} \quad (4)$$

$$I_{Maks.norm.} = \frac{S_{Maks.norm.}}{U_{N110}} = \frac{42390}{115} = 368 \text{ A} \quad (5)$$

Pagal generuojamą galią ($S_n = 20 \text{ MVA}$) ir įtampą $U_n = 20 \text{ kV}$ randame srovę kuri tekės tarp pastotės ir VE:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N^{20}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 20} = 692.82 \text{ A} \quad (6)$$

Vėjo elektrinė ir pastotė yra sujungtos dviem AXQJ-RMF 24kV kabeliais, kiekvieno jų vardinė srovė – 600A. Bendra srovė 1,2 kA. $1,2 \text{ kA} > 692,82 \text{ A}$. Kabelis parinktas teisingai. Kabelių duomenys (1 lentelė) [2].

1 lentelė

Kabelio duomenys

Kabelio markė	$S_1=2 \times \text{AXQJ-RMF } 24\text{kV}$
Ilgis	$L_1=1000 \text{ m}$
Aktyvioji varža	$R_{01}=0,125 \frac{\Omega}{\text{km}}$
Reaktyvioji varža	$X_{01}=0,30 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Prijungus VE prie tinklo didžiausias linijos apkrovimas bus linijos atkarpoje Geišiai (VE) – Stakiai ($39+j16,614 \text{ MVA}$). Apskaičiuojame pilną linija tenkančią galią:

$$S_{Geišiai(VE)-Stakiai} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{39^2 + 16,614^2} = 42,39 \text{ MVA} \quad (7)$$

Randame linijos srovę:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N^{110}} = \frac{42.39}{\sqrt{3} \cdot 115} = 199.16 \text{ A} \quad (8)$$

Tarp pastotės ir linijos „Jurbarkas – Raseiniai“ teka 199,16 A srovė, parinkto laido AS-185 $I_{leist.}=510 \text{ A}$. Toks pats laidas sudaro ir pačią liniją „Jurbarkas – Raseiniai“. Todėl esamas laidas tinkamas ir jo keisti nereikės. Laido parametrai pateikiami 2 lent.

2 lentelė

Laido duomenys

Laido markė	Laido ilgis	Aktyvioji varža	Reaktyvioji varža
$S_1= \text{AS-185}$	$L_1=6300\text{m}$	$R_{01}=0,17\Omega/\text{km}$	$X_{01}=0,41\Omega/\text{km}$

Skaičiuojant tinklo trumpuosius jungimus pirmiausiai reikia apskaičiuoti šias varžas: sistemos varžą transformatorinės pastotėje (TP) 110kV minimaliame režime, sistemos varžą TP 110 kV maksimaliame režime, transformatoriaus ir generatoriaus varžas [4]. 110 kV perdavimo tinklo parametrai gauti iš Litgrid pateikti 3 lent.

Apskaičiuojama sistemos varža minimaliame režime Jurbarko TP 110 kV šynose:

$$Z_{S \min}^{110} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} \cdot I_{\min}^{110}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 10.834} = j6.128 \Omega \quad (9)$$

Apskaičiuojama sistemos varža maksimaliame režime Jurbarko TP 110 kV šynose:

$$Z_{S maks}^{110} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} * I_{maks}^{110}} = \frac{115}{\sqrt{3} * 12.651} = j5.248 \Omega$$

(10)

)

Apskaičiuojama 110 kV linijos nuo Jurbarko TP iki projektuojamos Geišių pastotės varža:

$$Z_L = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{1.105^2 + j2.665^2} = 2.885 \Omega$$

(11)

3 lentelė

110 kV perdavimo tinklo parametrai

Tinklo vardinė įtampa:	110 kV
Maksimali ilgalaikė darbo įtampa:	123 kV
Dažnis:	50 Hz
Šynų vardinė srovė:	280A
Smūginė srovė:	≥ 40 kA
Trumpalaikė trumpo jungimo srovė (1s):	≥ 16kV
Atsparumas žaibo įtampos impulsui:	≥ 550kV
Atsparumas pramoninio dažnio įtampai, 1 min:	≥230 kV
Maksimali trumpojo jungimo srovė Jurbarko TP 110 kV šynose:	12,634 kA
Minimali trumpojo jungimo srovė Jurbarko TP 110 kV šynose:	10,821 kA

Apskaičiuojama vėjo elektrinių parko atstojamoji varža:

$$Z_G = \frac{1}{\frac{I_{maks}}{I_N}} * \frac{U_{N20}}{\sqrt{3} * I_N} = \frac{1}{\frac{7531}{1200}} * \frac{20000}{\sqrt{3} * 1200} = j1.533 \Omega$$

(12)

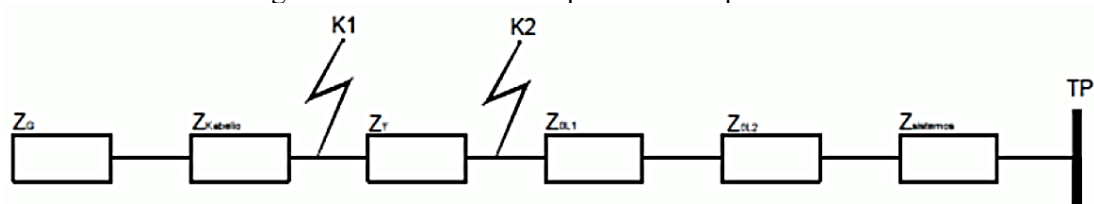
čia: I_{maks} - VE maksimali trumpo jungimo srovė [A]; U_{n20} - nominali vėjo jėgainių parko įtampa [V]; I_N - nominali vėjo jėgainių parko srovė [A].

Apskaičiuojama 20 kV kabelių linijos varža nuo VE iki transformatorinės:

$$Z_{KL} = L * R_0 = 1 * 0.126 = 0.126 \Omega$$

(13)

Skaičiavimams reikalinga ekvivalentinė schema pateikiama 4 pav.



4 pav. Ekvivalentinė trumpojo jungimo schema

Apskaičiuojama maksimali K2 trumpojo jungimo srovė 110 kV TP šynose:

$$I_{kmaks} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma} + Z_{S maks}^{110})^2}} = \frac{115}{\sqrt{3} * \sqrt{1.105^2 + (j2.665 + j5.248)^2}}$$

(14)

$$= 8.31 \text{ kA}$$

Apskaičiuojama minimali K2 trumpojo jungimo srovė 110 kV TP šynose:

$$I_{kmin} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma} + Z_{Smin}^{110})^2}} = \frac{115}{\sqrt{3} * \sqrt{1.105^2 + (j2.665 + j6.128)^2}}$$

$$(15)$$

$$= 7,49 \text{ kA}$$

Apskaičiuojama trumpojo jungimo K2 srovė maksimaliame režime į 110 kV šlynas, už transformatoriaus:

$$I_{kmax}^{110T} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma} + Z_T + Z_{Smax}^{110})^2}} =$$

$$= \frac{115}{\sqrt{3} * \sqrt{1.105^2 + (j2.665 + j55.55 + j5.248)^2}} = 1.046 \text{ kA}$$

$$(16)$$

Apskaičiuojama trumpojo jungimo srovė K2 minimaliame režime į 110 kV šlynas, už transformatoriaus:

$$I_{kmax}^{110T} = \frac{U_{N110}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{\Sigma}^2 + (X_{\Sigma} + Z_T + Z_{Smin}^{110})^2}} =$$

$$= \frac{115}{\sqrt{3} * \sqrt{1.105^2 + (j2.665 + j55.55 + j6.128)^2}} = 1.032 \text{ kA}$$

$$(17)$$

Apskaičiuojama trumpojo jungimo srovė K1 tekanti iš tinko į TP 20 kV šlynas maksimaliu režimu:

$$I_{kmax}^{20} = I_{kmax}^{110T} * \frac{U_{N110}}{U_{N20}} = 1.046 * \frac{115}{20} = 6.015 \text{ kA}$$

$$(18)$$

Apskaičiuojama trumpojo jungimo srovė K1 tekanti iš tinko į TP 20 kV šlynas minimaliu režimu:

$$I_{kmin}^{20} = I_{kmin}^{110T} * \frac{U_{N110}}{U_{N20}} = 1.032 * \frac{115}{20} = 5.933 \text{ kA}$$

$$(19)$$

Apskaičiuojama trumpojo jungimo srovė K1 tekanti į transformatorinės 20kV šlynas iš vėjo elektrinių parko:

$$I_k = \frac{U_{N20}}{\sqrt{3} * \sqrt{Z_G^2 + Z_{KL}^2}} = \frac{20}{\sqrt{3} * \sqrt{1.533^2 + j0.126^2}} = 7.506 \text{ kA}$$

$$(20)$$

Trumpųjų jungimų duomenys pateikiami lentelėje 4 lentelėje.

4 lentelė

Trumpųjų jungimų suvestinė

Parametrai:	I_{kmax}	I_{kmin}	I_{kmax}^{110T}	I_{kmin}^{110T}	I_{kmax}^{20}	I_{kmin}^{20}	I_k
Reikšmės [kA]:	8,31	7,492	1,046	1,032	6,015	5,933	7,506

Skaičiuojant smūginę srovę priimama, kad aukštosios įtampos įrenginiuose $k_s = 1,8$:

$$i_s = k_s \cdot I_{kmax} \cdot \sqrt{2} = 1,8 \cdot 8.31 \cdot \sqrt{2} = 21,153 \text{ kA}$$

$$(21)$$

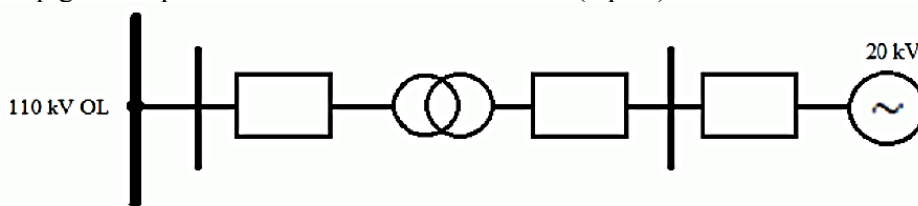
)

Normalaus darbo režimo srovės skaičiavimas:

$$I_d = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{N110}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 125,51 \text{ A}$$

$$(22)$$

TP schemos parinkimą lemia keli aspektai: transformatorių generuojama parko galia, pastotės įrengimo kaštai, įtampa, pastotės patikimumas, lankstumas. Dėl nedidelės VE parko galios parenkamas paprasčiausias ir pigiausias pastotės modelis – blokinė schema (5 pav.).



5 pav. TP blokinė schema

Apskaičiuojama pastotės pilnutinė apkrova:

$$S_{max} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{20^2 + 0^2} = 20 \text{ MVA} \quad (23)$$

Transformatoriaus pilnutinis apkrovimas lygus maksimaliai galiai tekančiai transformatoriuje (20 MVA). Pagal tai parenkamas dviejų apvijų transformatorius, su įžeminta neutralia: ABB 25 MVA, 110/20 kV [3].

Jungtuvas, tai pagrindinis komutacinis aparatas, kurį parenkant reikia atsižvelgti į daug sąlygų. Šiuo atveju parenkamas jungtuvas atsižvelgiant į tinklo įtampą ir srovę. Parenkamas ABB firmos LTB 110D1/B jungtuvas [6]. Jungtuvams keliami reikalavimai:

- Jungtuvai turi atitikti LST EN 62271-100 standarto reikalavimus.
- Jungtuvai turi būti užpildyti SF6 dujomis (standartas LST EN 60376) arba pristatomas reikiamas dujų kiekis papildymui iki eksploatacinio kiekio [9].
- Turi turėti porcelianinius izoliatorius.

Pasirinktas įrenginys atitinka keliamus reikalavimus ir yra ABB firmos siekiant palengvinti derinimo darbus.

Skyriklis – tai kontaktinė sistema, skirta atjungti ir vizualiai atskirti kontaktus. Jie statomi abipus elektros aparato (jungtuvo, transformatoriaus) ir atjungiami remonto metu. Kadangi jie neturi lanko gesinimo įrenginių, jie negali atjungti darbo srovės, jais galima įjungti ir išjungti transformatoriaus įmagnetinimo srovę, įjungti oro liniją tuščioje veikoje ir t.t. Pagal vardinę transformatoriaus įtampą parenkamas ABB firmos 3AP1 [10], 110 kV trifazis skyriklis su vienu įžeminimo peilių komplektu skirtas naudoti atviroje teritorijoje, lauke.

20 kV narveliai parenkami pagal tinklo vardinę įtampą ir srovę. Šiuo atveju parenkami narveliai su SF₆ dujų izoliacija su izoliuota tinklo neutrالية. Narvelio apsaugos laipsnis – IP3X. SF₆ modulio apsaugos laipsnis – IP65. Kad būtų lengviau derinti narvelius visi narveliai parenkami ABB gamintojo.

Pagal gautus duomenis žinoma, kad vėjo elektrinių parkas savosioms reikmėms sunaudoja 40 kVA galios. Atsižvelgus į tai parenkamas 20/0,4kV įtampos 50kVA galios transformatorius, siekiant užtikrinti kokybišką elektros energijos perdavimą vėjo elektrinių parkui, kai jos negeneruoja elektros energijos. Parenkamas Tianwei firmos S11-50 transformatorius [7]. Transformatorius turi atitikti šias sąlygas:

- Transformatorius padengtas antikorozyne danga.
- Turi atitikti LST EN 60076 ir LST EN 50464-1 standartus [7].

Išvados

1. Transformatorių pastotei parinktas sklypas Geišių k., Jurbarko r., apie 5 km nuo Jurbarko miesto į šiaurės rytus. Sklype nėra jokių pastatų ar saugomų želdinių. Šalia sklypo yra 110 kV oro linija Jurbarkas – Raseiniai, prie kurios suprojektuotas vėjo jėgainių parkas.

2. Atlikus trumpųjų jungimų skaičiavimus suskaičiuota maksimali ir minimali trumpojo jungimo srovė 110kV įtampos šynose ($I_{kmaks} = 8.31\text{kA}$, $I_{kmin} = 7.492\text{kA}$), maksimali ir minimali trumpojo jungimo srovė 110 kV pusėje, kai trumpasis jungimas už transformatoriaus ($I_{T kmaks 110} = 1.046\text{kA}$, $I_{T kmin 110} = 1.032\text{kA}$), maksimali ir minimali trumpojo jungimo srovė tekanti į transformatorinės 20 kV šynas iš tinklo ($I_{20 kmaks} = 6.015\text{kA}$, $I_{20 kmin} = 5.933\text{kA}$) ir trumpojo jungimo srovę tekančia į transformatorinės 20 kV šynas iš vėjo elektrinių parko ($I_k = 7.506\text{kA}$).

3. Pagal kiekvieno įrenginio atskirus inžinerinius skaičiavimus parinkti transformatorių pastotės įrenginiai: Galios transformatorius 110/20kV įtampos (ABB 110/20kV 25MVA), Jungtuvas 110 kV įtampos (ABB LTB110D1/B), skyriklis 110 kV įtampos trifazis su įžeminimo peiliu komplektu (ABB 3AP1),

jungtuvas 20kV įtampos (ABB VD4G), skyriklis 20kV įtampos (ABB 3CJ2), 50kVA 20/0.4kV įtampos savų reikmių transformatorius (Tianwei S11-50).

4. Įvertinta galios srautų įtaka 110 kV įtampos Jurbarkas – Raseiniai linijai prijungus vėjo jėgainių parką. Vėjo jėgainių parkas kartu su transformatoriuje susidariusias nuostolias į liniją perduoda 19,972 MW aktyviosios ir -0,177 MVar reaktyviosios galios. Ši galia normaliu darbo metu nežymiai padidina linijos apkrova bet neviršija leistinos maksimalios srovės linijoje.

Literatūra

1. ABB 25 MVA 110/20 kV - ID: BTBWeb #195 [žiūrėta 2023 02 02]. Prieiga per internetą: <https://www.btbplaza.com/index.php/en/stock/past-inventory/items/transformerinventory/items/view/unused-abb-25-mva-110-20-kv>
2. AXQJ 24kV kabelių katalogas, 2022m., [žiūrėta 2023 04 16]. Prieiga per internetą: [https://library.e.a.highvoltage.com/public/9d7b1322a1be42b089242ea760f7bce7/CA_VD4G\(E\)N/A_1VCP000671%20-%202017.04.pdf](https://library.e.a.highvoltage.com/public/9d7b1322a1be42b089242ea760f7bce7/CA_VD4G(E)N/A_1VCP000671%20-%202017.04.pdf).
3. Deksnys R., Grėblikas P., Rutkauskas M., Kriščiukaitis D., Danilevičius K., Baliukonis V., Bancevičius V., Kesiūnas V., Kalinauskas A., Kuznecovas P., Macelevičius V., Ruzgys B., Nargėlas A., Bukauskas J., Kesiūnas V. Elektros įrenginių įrengimo taisyklės, Vilnius 2011m.
4. Deksnys R. P., Staniulis R., Miškinis V. Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis, kursinis projektavimas, Mokomoji knyga, Kaunas 2010m. SunPower gaminių katalogas. [žiūrėta 2022-02-26]. Prieiga per internetą https://sunpower.maxeon.com/au/sites/default/files/202001/sp_P3_COM_MC4_1.2m_Cable_1kV_ds_au_a4_draft.pdf
5. Galios transformatorių katalogas BTB plaza the transformer Marketplace [žiūrėta 2023 04 9]. Prieiga per internetą: <https://www.btbplaza.com/index.php/en/component/joomd/transformerinventory/items/view/unused-abb-25-mva-110-20-kv>
6. High Voltage Products The complete portfolio from one source [žiūrėta 2023 03 06]. Prieiga per internetą: https://www.energy.abb.com/nl/pool/hq/power-transmission/high-voltageproducts/circuit/hv_products.pdf
7. Kaškelevičius J., Kinčinas L., Kuznecovas P., Liepinis A., Merkevičius V., Radzevičius L., Vaitkevičius J., Poderis V., Buičys E., Čerka R., Jurkšaitis V. Elektros įrenginių eksploatavimo saugos taisyklės, Vilnius, 2004m
8. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Elektros vartojimas Lietuvoje – didžiausias per ketvirtį amžiaus [žiūrėta 2023 04 9]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/elektros-vartojimas-lietuvoje-didziausias-per-ketvirti-amziaus>
9. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Atsinaujinantys energetikos ištekliai. [žiūrėta 2022 12 9]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/statistika>
10. Siemens Seperator type 3AP1 110kV, Extendable [žiūrėta 2022 12 9]. Prieiga per internetą: https://w3.siemens.nl/powerdistribution/nl/SiteCollectionDocuments/en/mv/8dh/catalogue-8dh10_en.pdf

STUDY OF THE 20 MW WIND POWER PARK CONNECTION TO THE ELECTRIC NETWORK

Summary

At this investigation, after exploring the possibilities of connecting a wind farm to a 110 kV electricity grid, a plan for connecting a wind farm to a 110/20 kV voltage transformer substation was designed. Based on analysis of the characteristics of the installation along with the acquired data on a 110 kV electricity grid and wind farm, the most suitable power transformer and substation layout was determined. After considering potential losses in the transformer substation when connecting a wind farm to a 110 kV grid, electric power distribution was calculated for normal operation.

Key words: 110/20 kV voltage transformer substation, wind farm, 110 kV transmission network.

GALIOS KABELIŲ ŠILUMINIŲ PARAMETRŲ PRIKLAUSOMYBĖS NUO APLINKOS VEIKSNIŲ TYRIMAS

Nerijus Baršiukaitis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikiama galios kabelių konstrukcijos analizė ir jos įtaka kabelio srovės pralaidumui. Projektuojant kabelines linijas dauguma projektuotojų vadovaujasi seniai galiojančia ir laiko patikrinta metodika, o apie kabelio skerspjūvio parinkimą, minimizuojant statybos kaštus ir skaičiuojant energijos perdavimo nuostolius per tam tikrą jo eksploatacijos laiką, neatsižvelgia. Atlikus literatūros analizę pasigendama kabelių šiluminių parametrų skaičiavimo metodikos, todėl ji bus pateikiama šiame straipsnyje.

Reikšminiai žodžiai: kabelių linija, kabelio ekranas, kabelio gysloje tekanti srovė, laidininko nuostoliai.

Ivadas

Siuolaikiniuose elektros tinkluose vis didesnis dėmesys skiriamas galios kabelių linijų plėtrai, ilgalaikei ir ekonomiškam kabelių tinklų funkcionavimui. Perdavimo ir skirstomųjų elektros tinklų technologinės plėtros strategijoje numatomos įvairios visų įtampų plastikais izoliuotų, tame tarpe ir vienfazių plastikais izoliuotų kabelių diegimo kryptys. Tačiau tokios konstrukcijos kabelių pritaikymas turi būti apgalvotas ir apskaičiuotas. Pagal specialią metodiką renkant 10-400 kV įtampos vienfazius kabelius nustatomi induktyviniai srovių ir viršįtampių dydžiai ekranuose, prireikus diegiamos kabelių apsaugos prevencinės priemonės.

Lietuvos elektros energetinėje sistemoje dar naudojami kabeliai su popierine, alyvoje įmirkyta izoliacija. Miestų teritorijose apie 50% visų kabelių yra kabeliai su popierine, alyvoje įmirkyta izoliacija. Kabeliai su popierine, alyvoje įmirkyta izoliacija yra technologiškai pasenę, todėl juos būtina keisti XLPE izoliuotais kabeliais. Iki 10 kV įtampoje naudojami viengysliai ir trigysliai kabeliai su XLPE arba PVC izoliacija, aukštesnėje įtampoje dažniausiai naudojami viengysliai kabeliai su XLPE izoliacija. Šiuo atveju trifazė kabelių linija – sistema, sudaryta iš trijų viengyslių kabelių, išdėstytų vienoje plokštumoje arba lygiašonio trikampio viršūnėse. Tiesiant tokius kabelius žemėje, reikia įvertinti šiluminius nuostolius kabelyje kuriuos įtakoja laidininko temperatūra, nuostoliai kabelio ekranuose bei grunto šiluminiai parametrai.

Tyrimo objektas - galios kabelių šiluminių parametrų priklausomybės nuo aplinkos veiksnių tyrimas.

Tyrimo tikslas: susisteminti ir pateikti galios kabelių šiluminių parametrų priklausomybės nuo aplinkos veiksnių vertinimo metodiką

Tikslui pasiekti keliama tokie uždaviniai:

1. Išanalizuoti galios kabelių konstrukciją ir jos įtaką kabelio srovės pralaidumui.
2. Apžvelgti galios kabelių nuostolius kurie turi įtakos kabelio pralaidumui.
3. Pateikti galios kabelių srovės pralaidumo skaičiavimo metodiką įvertinant aplinkos poveikį.

1. Galios kabelių konstrukcija

Šiuo metu elektros perdavimo sistemose klojami viengysliai ir trigysliai galios kabeliai, todėl apžvelgsime šiuos du pagrindinius kabelių tipus.

Kadangi šiuolaikinė galios kabelių izoliacija yra XLPE, tad straipsnyje bus labiau akcentuojami kabeliai su XPLE izoliacija, pateikiami šių kabelių skerspjūviai.

Šios izoliacijos medžiaga yra mažo tankio polietilenas LDPE (angl. low density polyethylene) kurio, molekulinėje struktūroje papildomai sukuriami kryžminiai ryšiai. Galutinė medžiaga žymima XLPE arba PEX.

Laidininkas kartu su izoliacijos ekranais yra užliejamas XLPE izoliacijos sluoksniu. Izoliacijos sluoksnis yra užliejamas kartu su laidininko ir izoliacijos ekranais – vykdomas trigubos ekstruzijos procesas. Ekstruderio antgalyje palaikoma aukšta temperatūra ir slėgis, tam kad liejimo metu nesusidarytų burbulų, nes vulkanizacijos metu išsiskiria didelis dujų kiekis, kuris gali suformuoti dujų ertmes. Kabelį atvėsinant, pašalinės reakcijos dujos pasišalina. Vienam milimetrai izoliacijos natūraliam degazavimui reikalinga viena para. (Filipe ir kt., 2013: 136)

Žemiau pateikiami standartiniai XPLE kabelių skerspjūviai:



1 pav. Tipinis vidutinės įtampos kabelių skerspjūviai

Šaltinis: sudaryta autoriaus

XLPE tinka įtampoms nuo žemos iki itin aukštos įtampos, aplenkiant kitas izoliacines medžiagas, tokias kaip PVC, etileno propileno gumos (EPR) ir silikoninį kaučiuką. Kryžminis polietileno sujungimas taip pat padidina atsparumą chemikalams ir tepalams aukštesnėje temperatūroje, tai leidžia XLPE izoliacija naudoti kaip žemo dūmingumo be halogenine (angl. "Low- Smoke Zero Halogen") medžiaga, kas yra labai aktualu šiuo metu.

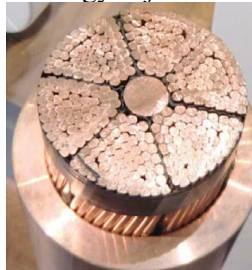
XLPE mechaninės savybės yra pranašesnės už daugelį kitų izoliacinių medžiagų, kurios suteikia didesnį atsparumą tempimui, pailgėjimą ir atsparumą smūgiams. XLPE izoliacija neištirpsta net ir kai kurių metalų lydymosi temperatūroje ($<300^{\circ}\text{C}$), ji padidina atsparumą srautui ir pagerina senėjimo savybes. Geresnis atsparumas vandens įgėrimo kokybei - tai dar viena XLPE izoliacijos teigiama nauda, lyginant su PE izoliacija. Vandens medžių augimas izoliacijoje yra defektas – prastos izoliacijos rezultatas, kai iškrovos linijos atsiranda ir auga elektros lauko kryptimi ir didėja dėl elektros krūvio.

Toliau analizuosime kiekvieną kabelio sluoksnį ir jo įtaką kabelio pralaidumui.

Kabelio laidininkas yra gaminamas iš aliuminio ar varinių vielų. Kaip yra žinoma, vario savitoji varža, palyginus su aliuminio, yra mažesnė esant tam pačiam skerspjūviui. Kabelio didžiąją kainos dalį lemia laidininko medžiagos parinkimas, todėl projektavimo metu yra apskaičiuojama kabelio savikaina, nes vario ir aliuminio kainos kinta, ir tik tuomet pasirenkama, iš ko bus gaminamas kabelio laidininkas.

Dažniausiai laidininkai sudaryti ir keletos gijų (apvalių ar profiliuotų), kurių kiekis priklauso nuo laidininko skerspjūvio. Pats laidininkas yra formuojamas susukant vario ar aliuminio gijas S arba Z sukimo būdu bei naudojant šaltąjį valcavimą. Tokiu būdu gaunamas laidininko tūris užpildomas 92 procentais. Tokiu vyniojimo būdu laidininkas įgyja didelį atsparumą lenkimams. Laidininkai standartizuojami, laikantis IEC 60228 standarto. (Filipe ir kt., 2013: 148)

„Milliken“ tipo kabelio privalumas – galimybė sumažinti „paviršinės srovės efektą“ (angl. skin effect), kuris dažnai pastebimas didelio skersmens laidininkuose. Elektros srovės srautai bus labiau sutelkti laidininko plote, išilgai perimetro, o tai sumažina gysloje tekančios paviršinės srovės dydį.



2 pav. „Milliken“ tipo laidininkas

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kiekviena kabelio gysla yra izoliuojama popieriumi, kuri yra įmirkyta alyvoje. Tokio tipo kabeliai naudojami tik AC sektoriuje, nes gamyba yra labai brangi bei „Milliken“ gyslos tipo DC kabeliai nėra gaminami, nes nuolatinė srovė nesukelia minėto efekto (angl. skin effect). Tokio tipo gyslos panaudojimas leidžia 15-20 procentų padidinti kabelio srovės pralaidumą.

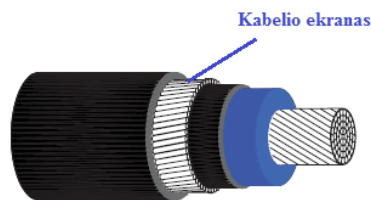
Kabelio puslaidininkis pagamintas iš PE pagrindu pagamintu ko-polimerų, sumaišytų su 40 % juodosios anglies. Vadovaujantis tarptautiniais standartais, puslaidininkio varža turi būti mažesnė nei 250

Ωm (CENELEC) arba mažesnė kaip $500\ \Omega\text{m}$ (AEIC, IEC). Jei puslaidininkio medžiagos varža yra per didelė, tai kabelyje atsiras daliniai išlydžiai, kurie sukelia didelius stresus kabelio izoliacijai, kurios po tam tikro laiko tampa laidžios ir galimi izoliacijos pažeidimai.

Pusiau laidūs sluoksniai padengiami 1–2 mm storio. Ilgam kabeliai, nors ir tokio mažo storio, pusiau laidinis sluoksnis sudaro dideles išlaidas, nes žaliavos reikalingos gamybai yra ganėtinai brangios.

Vandens barjeras pasiekiamas užkertant kelią vandeniui, tekančiam kabelio viduje, taip pat tarp kabelio elementų. Tai pasiekama užpildant kabelio laisvą erdvę vandenį blokuojančiomis medžiagomis. Jei vanduo prasiskverbia per apgadintą išorinį apvalkalą, vandenį blokuojančios medžiagos pradeda blokuoti vandenį ir patekti drėgmei giliau į kabelio konstrukciją ar išilgai į kabelio laidininką ar kitus sluoksnius. Kiekvienas kabelio dizaino etapas yra analizuojamas, o visos kabelio sąsajos yra užblokuotos. Kai tarp kabelio sąsajų reikalingas elektrinis kontaktas, naudojama pusiau laidžioji medžiaga, apie kurią aprašyta aukščiau.

Kabelio ekranas dažniausiai gaminamas iš aliuminio arba vario smulkių gijų, kurių storis 0,5–4 mm. PE kabeliuose naudojama laminuota aliuminio folija, kurios storis siekia nuo 0,1 iki 0,3 mm. Dažniausiai gijų skaičius ar bendras ekrano storis yra paskaičiuojamas projektavimo metu pagal techninius projekto parametrus. (Gill ir kt., 2016: 59)



3.pav. 10 kV įtampos kabelio ekranas
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Ekrano paskirtis:

1. Kabelio izoliacijos apsauga nuo magnetinių laukų,
2. Įžemėjimo srovės nuvedimas į įžeminimo įrenginius.

Kabelio ekrano paskirtis yra apsaugoti kabelio izoliaciją nuo magnetinių laukų, kurie gali paveikti pačią izoliaciją tiesiogiai, sukeldami įtampos svyravimus izoliacijoje.

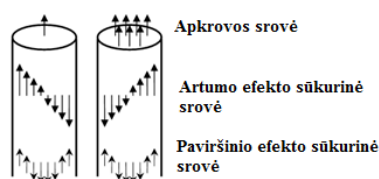
Kabelio apvalkalas dažniausiai gaminamas iš PE. Pagrindinė paskirtis – kabelio apsauga nuo išorinių mechaninių poveikių. Eksploatacijos metu šis elementas turi būti tikrinamas su 10 kV nuolatinės srovės įtampa. Tikrinimo metu nustatomi kabelio paviršutiniai pažeidimai, kurie gali turėti įtakos kabelio sistemos veikimui.

2. Galios kabelių nuostoliai ir jų įtaka kabelio pralaidumui.

Norėdami apskaičiuoti kaip srovės tekėjimas įtakoja kabelio pralaidumą turime išnagrinėti kabelio gebėjimą išsklaidyti gautą šilumos kiekį į aplinką. Kabelio generuojama šiluma virsta nuostoliais kurie turi būti pašalinti iš kabelio, kadangi reikia užtikrinti, kad kabelio eksploatacijos temperatūra neviršytų maksimalios leistinosios temperatūros. Kabelyje esanti šiluma gali būti perduodama įsupančią aplinką keliais būdais. Kabeliuose kurie pakloti žemėje šiluma iš laidininko pirma pereina į kitus kabelio sluoksnius ir tik tada išsisklaido supančioje aplinkoje. Šilumos konvekcija ir spinduliavimas pasireiškia kabeliuose kurie eksploatuojami ore. Kabeliai kurie eksploatuojami ore turi didesnę šilumos išsisklaidymo laipsnį nei kabeliai esantys žemėje. (Hakan ir kt., 2007: 133)

Laidininko nuostoliai. Srovės tekėjimas laidininku generuoja šilumą kuri matuojama W/m. Laidininko nuostoliai apskaičiuojami standartine formule $W_c = I^2 R$. Sugeneruota šilumą iš kabelio turi išsisklaidyti į supantį dirvožemį ar orą. Laidininko varža turi būti kiek įmanoma mažesnė kad būtų galima sumažinti šilimo efektą.

Šią varžą įtakoja du veiksniai tai paviršiaus (ys) ir artumo (yp) efektai kurie pavaizduoti 4 paveiksle.



4.pav. Artumo ir paviršiaus efektai
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Jeigu prie dielektriko bus prijungta kintamoji įtampa, tai visos aukščiau minėtos srovės tekės dielektriku tol, kol jį veiks kintamoji įtampa. Visų trijų srovių dielektrike vektorinė diagrama atvaizduota 26 paveiksle. Įtampa U yra horizontalus vektorius, slinkties srovė I_{sl} (pralenkianti įtampą 90°) atvaizduota įtampos vektoriui statmeniu vektoriumi. Absorbcijos srovė I_{abs} atvaizduota vektoriumi, kuris pralenkia įtampos vektorių U , bet mažesniu kaip 90° kampū. Laidumo srovė I_l laiko atžvilgiu (faze) sutampa su įtampa U .

Naudojantis vektorių sudėties taisykle, sudedamos visos trys srovės ir gaunama bendra srovė dielektrike, kurią vaizduoja vektorius I . Kampas tarp I ir įtampos U pažymėtas graikiška raide ϕ ir vadinamas fazių skirtumo kampū. Kampas, papildantis ϕ iki 90° , t.y. kampas tarp bendrosios srovės vektoriaus I ir slinkties srovės vektoriaus I_{sl} žymimas graikiška raide δ (delta) ir vadinamas dielektrinių nuostolių kampū.

Dielektrinių nuostolių galia gaunama iš formulės:

$$W_d = U^2 \omega C \tan \delta; \quad (8)$$

$$\tan \delta = \frac{P}{U^2 \omega C}; \quad (9)$$

čia C – dielektriko talpa, F; P – aktyvioji galia suvartojama dielektrike, W; U – įtampa tekanti dielektriku.

Iš formulės matyti, kad prijungus kintamąją įtampą, kurios dažnis f , prie dielektriko, kurio talpa C , galios nuostoliai izoliacijoje priklauso nuo $\tan \delta$.

Dydis $\tan \delta$ vadinamas dielektrinių nuostolių kampo tangentu, nes nuo jo priklauso aktyvioji galia, prarandama dielektrike, kurį veikia kintamoji įtampa. Šis dydis yra kiekvieno dielektriko, naudojamo aukštosios įtampos įrenginiuose, normuojamas labai svarbus rodiklis.

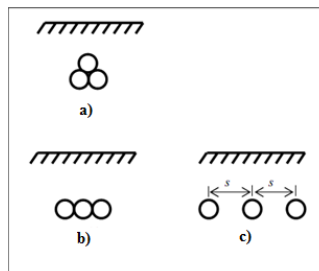
Kabelio ekrano nuostoliai. Srovės tekėjimas laidininku kabelio metaliniame ekrane sukuria elektromagnetinį lauką, kuris mažina kabelio pralaidumą. Šie nuostoliai tiesiogiai priklauso nuo laidininku tekančios srovės dydžio ir išskaidomi į dvi dedamąsias, tai išilginės srovės (λ'_1) sukurtinės srovės nuostolius (λ''_1). Nuostoliai ekrane apskaičiuojami pagal formulę:

$$\lambda_1 = \lambda'_1 + \lambda''_1; \quad (10)$$

čia λ_1 – nuostoliai ekrane; λ'_1 – sukurtinės srovės nuostoliai; λ''_1 – išilginės srovės nuostoliai.

Išilginė srovė egzistuoja viengyslių kabelių sistemose kuriose kabelių ekranai sujungti tarpusavyje ir įžeminti abiejuose kabelių galuose. Ekranas veikia kaip lygiagretus laidininkas kebelyje, sukurta srovė teka išilgai ekrano ir grįžta per ekraną iš kitos fazės. Tai galima sumažinti padidinus kabelio ekrano varžą ir mažinant atstumą tarp viengyslių kabelių trifazėje sistemoje. Tačiau tai padidina sukurtinės srovės ir abipusį kabelių šilimą. (Tziouvaras ir kt., 2016: 223)

Trifazėje sistemoje kabelio ekrano nuostolius λ_1 reikia skaičiuoti pagal du standartinius kabelių klojimo būdus tai yra trikampiū ir plokštumą kaip parodyta 5 paveiksle. Abejais atvejais sukurtinės srovės nuostoliai $\lambda'_1 = 0$, todėl šių nuostolių nevertiname.



5.pav Standartiniai kabelių klojimo būdai. a) išdėstymas trikampiū; b) išdėstymas plokštuma be tarpų; c) išdėstymas plokštuma išlaikant atstumus tarp kabelių

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Trijų viengyslių kabelių ekrano nuostoliai išdėstytų trikampiū ir įžemintų abiejuose galuose apskaičiuojami:

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2}; \quad (11)$$

čia X – reaktyvioji ekrano varža kabelių išdėstytų trikampiū apskaičiuojama iš:

$$X = 2\omega \cdot 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{2s}{d}\right), \Omega/m. \quad (12)$$

Trijų viengyslių kabelių ekrano nuostoliai išdėstytų plokštumą ir įžemintų abiejuose galuose apskaičiuojami:

$$\lambda''_1 = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X_1}\right)^2}; \quad (13)$$

čia X_1 - reaktyvioji ekrano varža kabelių išdėstytų plokštumoje apskaičiuojama iš:

$$X_1 = 2\omega \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left\{ 2 \cdot \sqrt[3]{2} \cdot \left(\frac{s}{d} \right) \right\}, \Omega/m. \quad (14)$$

Nuostoliai dėl sūkurinių srovių pasiekia maksimalią vertę kaip viengysliai kabeliai trifazėje sistemoje pakloti kiek įmanoma arti vienas kito. Tačiau dažniausiai šie nuostoliai yra maži palyginti su išlyginamosios srovės nuostoliai todėl jų galima nevertinti.

3. Galios kabelių srovės pralaidumo skaičiavimo metodiką įvertinant aplinkos poveikį.

Kaip minėta anksčiau pagrindinė problema su kuria susiduriama aukštos įtampos keblinėse sistemose yra įšilimas. Suminiai galios nuostoliai kabelyje susideda iš atskirų nuostolių kurie atsiranda dėl kabelio komponentų, elektrinių ir magnetinių laukų poveikio. Šios nuostolius sudaro laidininko nuostoliai (W_c), ekrano nuostoliai (W_s) ir šarvo nuostoliai (W_a).

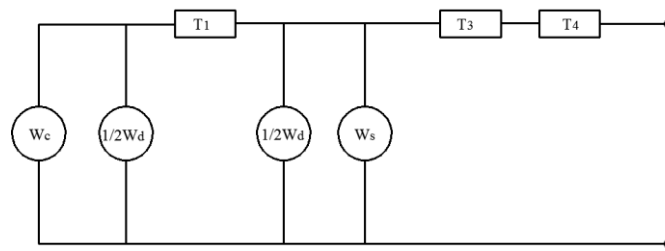
$$W_t = W_c + W_s + W_a = W_c(1 + \lambda_1 + \lambda_2); \quad (15)$$

čia W_c - laidininko nuostoliai, W/m; W_s - ekrano nuostoliai, W/m; W_a - šarvo nuostoliai.

Normaliomis darbo sąlygomis kabeliu tekanti srovė yra beveik pastovaus dydžio kaip ir kabelio temperatūra, ir laidininko sugeneruota šiluma yra apytiksliai lygi išsisklaidžiusiai šilumai. Temperatūros reikšmė priklauso nuo kabelio tipo, kabeliams su XLPE izoliacija maksimali leistinoji laidininko darbo temperatūra yra 90 °C. (Cigre Guide 640 2015)

Žemėje klojant XLPE izoliuotą kabelį, būtina įvertinti tai, kad laidininko ilgalaikio darbo +90 °C temperatūra gali išdžiovinti arti esantį gruntą, dėl ko kabelis gali būti perkrautas. Todėl rekomenduojama sumažinti žemėje klojamų XLPE izoliuotų kabelių laidininkų ilgalaikio darbo temperatūrą iki +65 °C.

Tyrimui parinkti kabeliai su XLPE izoliacija, kurie neturi šarvo turi tik ekraną todėl šiluminiai nuostoliai šarve T_2 nevertinami.



5.pav Skaičiuojamoji schema kabeliui su XLPE izoliacija

Šaltinis: *Elements of Thermal Systems*, lpsa.swarthmore.edu/Systems/Thermal/SysThermalElem.html, 2018

Pasinaudojus skaičiuojamąja schema galime išreikšti temperatūros skirtumą tarp laidininko ir jį supančios aplinkos:

$$\Delta\theta = \left(W_c + \frac{1}{2}W_d \right) T_1 + [W_c(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_a]n(T_3 + T_4); \quad (16)$$

čia n - laidininkų kabelyje skaičius, vnt.; T_1 - šiluminis atsparumas tarp laidininko ir ekrano; T_3 - išorinių sluoksnių šiluminis atsparumas; T_4 - aplinkos supančios kabelį terminis atsparumas.

Kadangi nuostoliai laidininke yra tiesiogiai priklausomi nuo tekančios srovės, $W_c = I^2 R$ tai duoda formulę kuri leidžia apskaičiuoti kabelio srovę:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d[0,5T_1 + n(T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0,5}; \quad (17)$$

Keisdami srovės apskaičiavimo formulėje kabelį veikiančių šiluminių parametrų reikšmes galime nustatyti jų įtaką kabelio pralaidumui.

Išvados

1. Išanalizavus galios kabelių konstrukciją ir jos įtaką kabelio srovės pralaidumui nustatyta, kad norint padidinti kabelio pralaidumą reikia rinktis kabelius su „Milliken“ tipo laidininkas ko pasėkoje galima padidinti kabelio pralaidumą 15-20%.

2. Apžvelgus galios kabelių nuostolius kurie turi įtakos kabelio pralaidumui nustatyta, kad didžiausią įtaką kabelio pralaidumui turi laidininko ir kabelio ekrano nuostoliai. Norint reikšmingai padidinti kabelio pralaidumą reikia padidinti laidininko paviršiaus plotą ir kabelio ekrano skerspjūvį.

3. Pateikta skaičiuojamoji schema kabeliui su XLPE izoliacija bei formulė kuri leidžia apskaičiuoti kabelio srovę priklausomai nuo laidininką supančios aplinkos. Pasinaudojus pateikta formule galima tiksliau įvertinti kabelio pralaidumą projektavimo metu, kas leistų išvengti kabelio perkrovos.

Literatūra

1. Cigre Guide 640 “A Guide for Rating Calculations of Insulated Cables”, 2015
2. Filipe S., Claus B. Electromagnetic Transients in Power Cables, New York: Springer, 2013.
3. Gill P. Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, CRC Press: Second Edition, 2016
4. Hakan L., Harry O., Nigel H., Rick H. „Long-Life XLPE Insulated Power Cable,“ įtraukta Jicable, Paris, 2007.
5. Kearney J., Lawler J., O'Reilly G. Design of an Underwater Cable Fault Location Device to Precisely Locate Submarine Cable Faults, Universities Power Engineering Conference (UPEC), IEE publication, 2017
6. Tziouvaras A. Protection of High-Voltage AC Cables, *Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.* 2016.
7. Welcox D.J. Transient analysis of underground power transmission systems. Proc. Inst. El. Eng., 1973, vol.120, N2, p. 253-260.
8. Worzyk T. Submarine Power Cables Design, Installation, Repair, Enviromental Aspects, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

STUDY OF THE DEPENDENCE OF THERMAL PARAMETERS OF POWER CABLES ON ENVIRONMENTAL FACTORS

Summary

The article presents an analysis of the construction of power cables and its influence on the current carrying capacity of the cable. When designing cable lines, most designers follow the long-established and time-tested methodology, and do not take into account the selection of the cable cross-section, minimizing construction costs and calculating energy transmission losses during a certain period of its operation. After the literature analysis, the methodology for calculating the thermal parameters of cables is missing, so it will be presented in this article.

Key words: cable line, cable screen, current flowing in the cable core, conductor losses.

ELEKTROSTATINĖS ŽMOGAUS SUKELTOS APLINKOS ĮTAKOS SKAITMENINĖMS RELINĖMS APSAUGŲ SISTEMOMS TYRIMAS

Nerijus Baršiukaitis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Sparčiai didėjant elektroninės ir mikroprocesorinės įrangos kiekiui, aukštosios įtampos transformatorių pastotėse vis dažniau iškyla apsaugos nuo statinės elektros problema. Pastotės aptarnaujančio personalo statinės elektros potencialas gali siekti iki kelių kV ir tai gali turėti neigiamą poveikį pastotės elektroninių techninių sistemų darbui. Kai kuriais atvejais statinės elektros išlydis gali traumuoti dirbantį žmogų. Straipsnyje pateikiama sąlygų, turinčių įtakos žmogaus kūno potencialo dydžiui analizė.

Reikšminiai žodžiai: statinė elektra, statinės elektros išlydis, elektrostatinis krūvis, elektromagnetinis suderinamumas, kibirkštinis išlydis.

Įvadas

Aukštosios įtampos transformatorių pastotės yra sudėtingas objektas, kadangi galios įrenginių pažaida gali sukelti gana sunkias pasekmes. Siekiant užtikrinti patikimą pastotės darbą, būtina įvertinti įvairius veiksnius tarp jų ir techninių priemonių elektromagnetinį suderinamumą (TPEMS). TPEMS nusakomas dviem dedamosiomis: atsparumu trikdžiams ir elektromagnetine aplinka objekte. Aukštos įtampos pastotėse dažniausiai elektromagnetinė aplinka charakterizuojama kaip sunki ir apibūdinama elektromagnetinių reiškinių bei procesų visuma. Viena elektromagnetinės aplinkos dedamoji yra elektrostatiniai krūviai, kurie negatyviai veikia elektroninių techninių priemonių darbą (Beaver ir kt., 2004: 65). Statinės elektros problema aktuali ir gamyboje, kur elektrostatiniai krūviai gali sukelti gaisrus arba sprogius bei išderinti technologinius procesus.

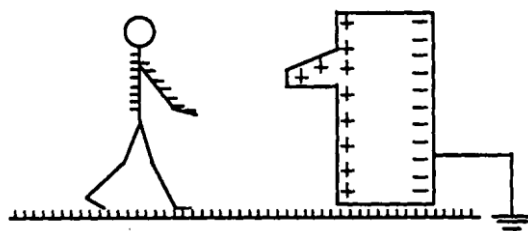
Tyrimo objektas – statinės elektros išlydžių atsiradimo priežastys ir poveikis aukštos įtampos pastotėse skaitmeninėms relinėms apsaugų sistemoms

Tyrimo tikslas – išnagrinėti statinės elektros išlydžių įtaką skaitmeninėms relinėms apsaugų sistemoms bei jų priklausomybę nuo aplinkos veiksnių.

1. Elektrostatinė žmogaus aplinka

Vykstant statiniam išlydžiui, dažniausiai sutrinka didelio greičio skaitmeninių mazgų ar skaitmeninių interfeisų elementų darbas. Ypač pavojingas tokių krūvių poveikis yra neapsaugotiems aparatūros mazgams. Todėl vykdant bet kokius remontinius arba derinimo darbus būtina laikytis elektrostatinės saugos taisyklių.

Pastotėse elektrostatiniai krūviai atsiranda vykstant elektrizavimui trintimi, žmogaus kūno kontaktu su įvairiais daiktais: kėde, stalu, grindimis ar apranga kaip pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. Žmogaus kūno elektrizavimas indukcijos keliu
Šaltinis: sudaryta autoriaus

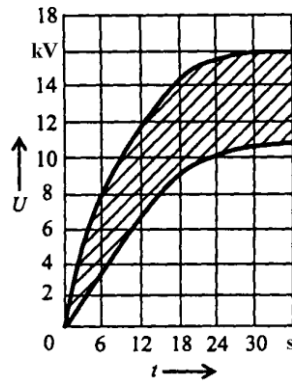
Žmogaus atveju elektrizacijos lygis nusakomas įtampa žemės atžvilgiu:

$$U = Q/C; \quad (1)$$

čia Q – elektrostatinis krūvis žmogaus kūne; C – žmogaus talpa žemės atžvilgiu.

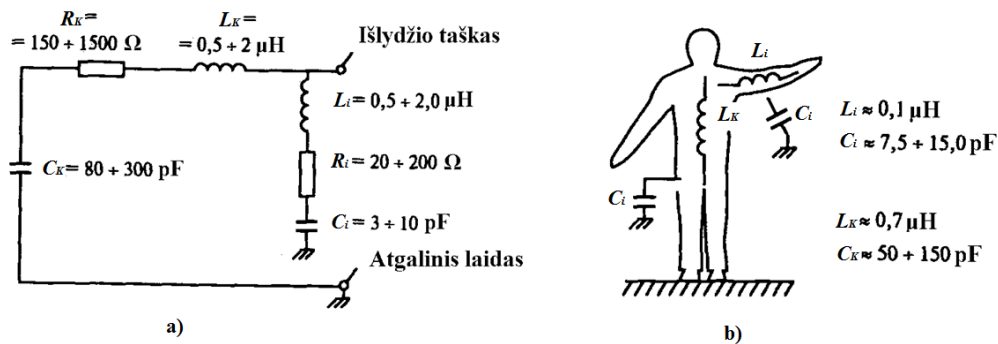
Žmogaus talpa žemės atžvilgiu priklauso nuo kūno atstumo iki įžemintų daiktų bei grindų. Kaip bato pado storis 5 – 10 mm talpa paprastai būna 70 – 250 pF. Jeigu žmogus užkrovimo metu keičia padėtį, kartu keičiasi ir talpa supančių daiktų atžvilgiu. Pavyzdžiui sėdinčio žmogaus talpa 20 – 35 pF didesnė negu stovinčio žmogaus. Skaičiavimuose ji priimama $C = 150$ pF.

Sukauptą energiją žmoguje gali viršyti 1 mJ. Laikoma, kad žmogaus aktyvioji varža statinės elektros išlydžio metu yra 500 – 1500 Ω . Maksimalios elektrostatinės įtampos, kuri atsiranda žmogaus kūne, kitimo grafikas pateiktas 2 paveiksle.



2 pav. Įtampa ant žmogaus kūno pažeidus grindų izoliaciją
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kadangi žmogus yra pagrindinis statinio krūvio generatorius darbo zonoje, todėl individualios elektromagnetinio suderinamumo priemonės yra bet kurios antistatinės programos vienas iš pagrindinių punktų. Išlydžio nuo žmogaus kūno supaprastinta ekvivalentinė schema, leidžianti nagrinėti elektrosstatinį išlydį matematiniu būdu, pateikta 3 paveiksle.



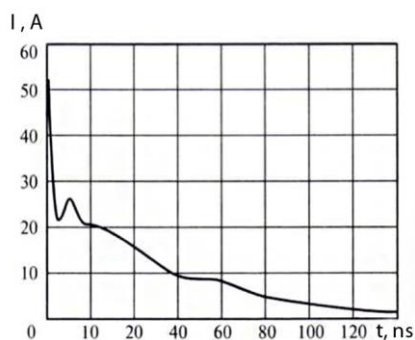
3 pav. Elektrosstatinio išlydžio modelio nuo žmogaus kūno ekvivalentinė schema: a) elektrosstatinio išlydžio naudojant RLC grandinės modelis; b) žmogaus kūno modelis nagrinėjant elektrosstatinį išlydį
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Laikoma, kad apie 70 % elektroninių komponentų pažeidų statine elektra įvyksta dėl nepatikimo personalo įžeminimo. Elektromagnetinio suderinamumo saugos užtikrinimui darbo vietoje būtina naudoti antistatinės medžiagos ir instrumentą, užtikrinantį patikimą visų įžeminamų elementų įžeminimą. Iš darbo zonos pagal galimybes pašalinti dielektrikus (medžiagas kurių paviršinė varža didesnė kaip 1000 GΩ), kadangi įžeminimas per laidininką krūviui nutekėti yra netikslingas. (Maksimov ir kt., 2000: 266)

Personalo įžeminimas kaip statinio krūvio šaltinio ir nešėjo gali būti įvykdytas: apyrankės sujungtos per 1 MΩ varžą su įžeminimo šyna pagalba; kaip papildoma įžeminimo grandinė gali tarnauti antistatinė medžiaga (kėdė, grindų danga).

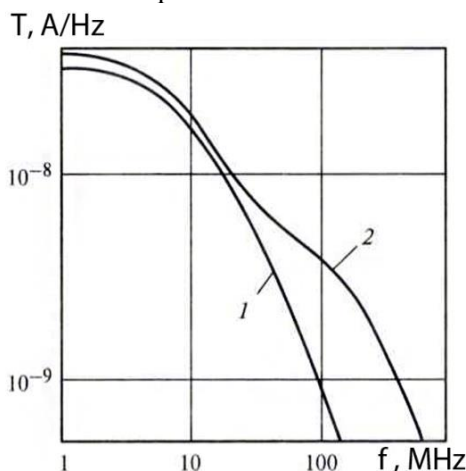
2. Veiksniai turintys įtakos elektrosstatinio išlydžio dydžiui

Elektrosstatiniai išlydžiai - tai trumpalaikiai procesai su nedideliu energetiniu lygiu. Tokio išlydžio srovė gali sudaryti nuo 100 pA iki keleto μA, o pats krūvis nuo 3 nC iki 5 μC. Nežiūrint į tai, kad šių krūvių trumpalaikis poveikio laikas ir maža energija maža, tikėtina, kad dėl jų poveikio gali atsirasti įvairių problemų elektroninių techninių priemonių darbe (Lowke, 1992: 202). Poveikį elektrotechninėms priemonėms gali turėti tiek srovė, tiek išlydžio įtampa. Kiekvienas statinės elektros išlydis lydimas elektrinių ir magnetinių laukų. Iki 10 cm atstume, elektrinio lauko stipris gali siekti iki 4 kV/m, o 20 cm atstume - iki 1 kV/m. Analogiškai magnetinis laukas bus lygus 15 A/m ir 4 A/m. Kartais išlydžio srovė yra sudaryta iš labai trumpalaikių impulsų, kurie susideda ant pradinės ilgalaikės srovės dalies. Išlydžio srovės išsikrovimo oscilograma nuo žmogaus turinčio 8 kV potencialą pateikiama 4 paveiksle.



4 pav. Tipinė išlydžio nuo žmogaus per metalinį daiktą jo rankose, srovės kreivė
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Išankstiniai trumpalaikiai srovės impulsai paprastai atsiranda esant nedidelei įkrovimo įtampai. Analizuojant išlydžio poveikį, kaip trikdžių šaltinį, būtina žinoti ar yra išankstiniai srovės pikai. 5 paveiksle parodyta spektralinė pilnojo išlydžio srovės impulso sudėtis.



5 pav. Statinės elektros išlydžio kreivės spektrinė sudėtis: T – amplitudžių pasiskirstymo tankis;
1 – ilgalaikė dedamoji; 2 – pilnas impulsas
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Trumpalaikių srovės dedamųjų buvimas didina spektralinį tankį didelių dažnių srityje. Tai rodo, kad šios srovės dedamosios yra labai reikšmingos, kadangi dažniausiai trikdžių perdavimas yra aukštadažnis. Jeigu žmogaus įkrovimo potencialas siekia vainikinio išlydžio atsiradimo įtampą, tai išlydžio impulso statusas nusakomas greičiu, kurio įkrautas objektas artėja prie išsikrovimo objekto (Dijakov ir kt., 2011: 45). Jeigu priartėjimas vyksta labai greitai impulso srovės frontas turi didelį statumą. Dažniausiai statinės elektros išlydžio poveikis gaunamas tuomet kai rankoje yra metalinis daiktas (raktas, atsuktuvus, laidai apyrankė). Šiuo atveju srovės statusas, kuris nusako indukuotą trikdžių atsiradimą, gali siekti iki 100 A/ns.

Veikiant srovei, puslaidininkiuose gali atsirasti lokalinio išsilydymo zona, o oksiduose susidaryti taškinė kiaurymė iki 1 mikrono diametro. Veikiant įtampai galimas puslaidininkinių kristalų paviršiaus suardymas arba kiauras dielektriko pramušimas (Gorlov, 2016: 27).

Elektrostatinio krūvio potencialas priklauso nuo: besitrinančių paviršių savybių, besitrinančių paviršių ploto dangos matmenų ir storio, kūnų parametrų ir kontakto būdo.

Tarp kintamų parametrų būtina išskirti drėgmę. Nuo jos priklauso medžiagos savitoji varža (1 lentelė) ir elektrostatinio išlydžio potencialas (2 lentelė).

1 lentelė

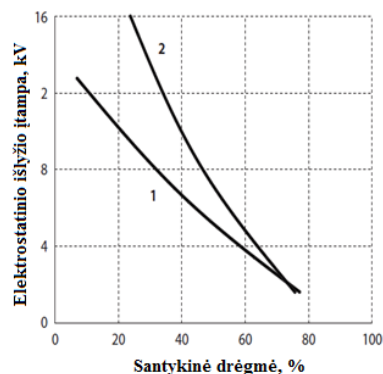
Medžiagos savitosios varžos priklausomybė nuo drėgmės

Medžiaga	Savitoji paviršiaus varža, Ω	
	Drėgmė 0%	Drėgmė 100%
Politetraftoretilenas	$5 \cdot 10^{17}$	$3,6 \cdot 10^{12}$
Polistirolas	$5 \cdot 10^{17}$	$8,4 \cdot 10^{11}$
Polietilenas	$5 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^9$
Nailonas	10^{12}	$3,8 \cdot 10^9$
Lydytas kvarcas	10^{17}	$6,5 \cdot 10^{10}$
Aminoplastas	$6 \cdot 10^{14}$	10^{13}

Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės

Operacija	Potencialas kV, kaip drėgmė sudaro		
	10%	40%	55%
Ėjimas kilimu	35	15	7,5
Ėjimas viniline danga	12	5	3
Judesiai ant suolo	6	0,8	0,4

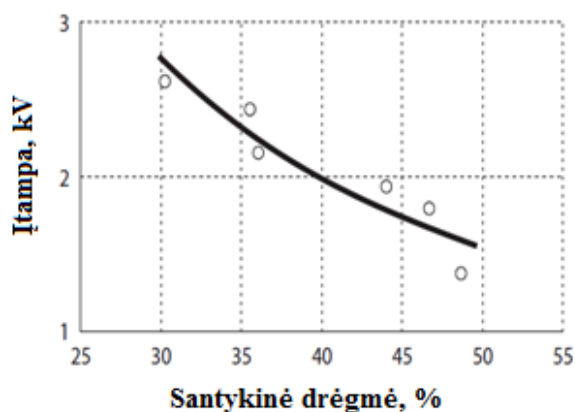
Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė einant polivinilchloridu arba gumos danga dengtomis grindimis pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė einant polivinilchloridu (1) arba gumos danga (2) dengtomis grindimis

Šaltinis: sudaryta autoriaus

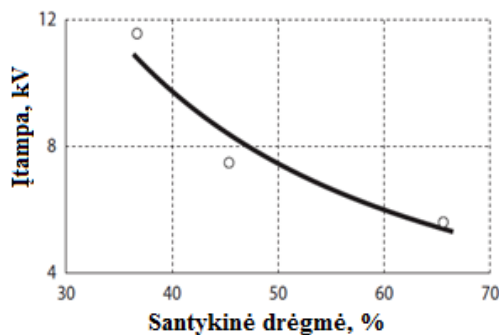
Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės uždaroje skirstykloje pateikiama 7 paveiksle.



7 pav. Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės uždaroje skirstykloje su falšgrindimis

Šaltinis: sudaryta autoriaus

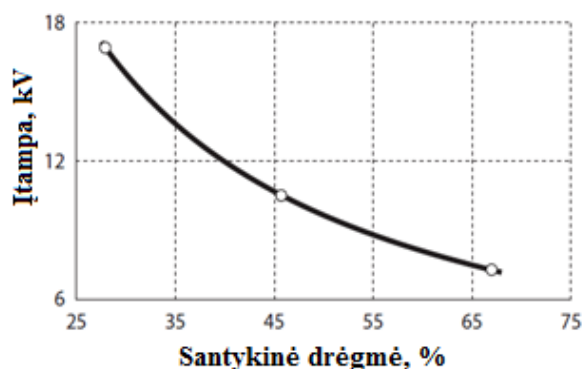
Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės patalpoje su linoleumu pateikiama 8 paveiksle.



8 pav. Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės patalpoje su linoleumu

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės patalpoje parketu pateikiama 9 paveiksle.



9 pav. Elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybė nuo drėgmės patalpoje parketu
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tyrimo rezultatai rodo esminę elektrostatinio išlydžio potencialo priklausomybę nuo drėgmės ir besitrinančių paviršių. Realus bandymo metu buvo nustatyti maksimalūs potencialai, kurie gali atsirasti pastotėse ir turėti įtakos elektromagnetiniam suderinamumui: falšgrindys 2,7 kV; betono danga 3,1 kV; linoleumas 11,3 kV; lakuotas parketas 18,9 kV.

Gautas potencialas sulyginamas su elektrostatinių išlydžių keliamais trikdžiais, tai leidžia nustatyti ar elektroninė aparatūra dirbs be sutrikimų ir ar būtinos papildomos saugos priemonės. Elektrinėms ir aukštosios bei vidutinės įtampos pastotėms yra nustatyti tokie elektrostatinių išlydžių lygiai: 6 kV – esant kontaktiniam išlydžiui; 8 kV esant išlydžiui ore.

Išvados

1. Statinės elektros išlydžiai, aptarnaujant technines priemones, dėl personalo gali siekti iki 16 kV. Išlydžio metu tekanti srovė lengvai patenka į įrenginio korpusą, dėl to atsiranda jautraus elemento pažaida.
2. Statinės elektros išlydžio potencialas yra kintamasis dydis ir priklauso nuo įvairių parametrų, padidėjus drėgmei nuo 10 iki 55% potencialas pasikeis apie 15 kartų.
3. Kiekvienu atveju potencialo dydį būtina nustatinėti atskirai, atliekant tyrimus įvertinti drėgnės kitimo ribas, avalynę, aprangą ir kitas sąlygas.

Literatūra

1. Beaver B., Powers D. Electricity and Magnetism, Grades 6 - 12: Static Electricity, Current Electricity, and Magnets. 2004. 65p.
2. Lowke J.J. "Theory of electrical breakdown in air". Journal of Physics D: Applied Physics : (1992), 202–210.
3. Дьяков А. Ф., Кужекин И. П., Максимов Б. К., Темников А. Г. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике. 2011, 45-50.
4. Горлов М. И. Статическое электричество и полупроводниковая электроника// «Природа». – № 12 – 2016. – С. 27–36.
5. Максимов Б. К., Обух А. А. Статическое электричество в промышленности и защита от него. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
6. Кечнев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества // «Технологии», 2005, 352 с.

INVESTIGATION OF ELECTROSTATIC EFFECTS OF ANIMATED ENVIRONMENT ON DIGITAL RELAY PROTECTION SYSTEMS

Summary

Fast growing quantity of electronic and microprocessor equipment in high voltage substations more often rises problems with static electricity. Staff static electricity discharge can rise up to a few kV and that can cause serious problem for equipments. That is why we need to research humidity variation limits and other circumstances.

Key words: static electricity, electrostatical charge, electromagnetical compatibility, spark discharge.

AUTOTRANSPORTO ELEKTRONIKOS INOVACIJŲ PROJEKTINIAI SPRENDIMAI

AUTOMOBILIO AKLOSIOS ZONOS STEBĖJIMO SISTEMOS TYRIMAS, NAUDOJANT SKIRTINGUS GALIMOS KLIŪTIES OBJEKTUS IR SĄLYGAS

Domas Morkis, Rasa Žygienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šio darbo tikslas yra suprojektuoti aklosios zonos stebėjimo sistemos maketą, kuris imituotų realios sistemos veikimą ir atlikti sistemos tyrimą naudojant skirtingus scenarijus ir kliūtis. Straipsnyje pateikiamas suprojektuotos automobilio aklosios zonos stebėjimo sistemos naudojamos ultragarsinį jutiklį, tyrimas. AZS sistema skirta automobiliams, kurie šios sistemos neturi arba tokio tipo sistema nebuvo montuojama. Numatytiems darbo uždaviniams įgyvendinti buvo atlikti bandymai artimomis automobilio eksploatacijai sąlygomis. Atliekant bandymus kontroliuojamoje aplinkoje buvo sukurtos laboratorinės sąlygos su kontroliuojamais parametrais ir scenarijais. Tyrime naudotas ultragarsinis jutiklis HC-SR04, gebantis atkartoti ultragarsinių parkavimo jutiklių veikimą. Papildomai naudotos imitacinės priemonės ultragarsinių sistemų efektyvumo, bei reakcijos įvertinimui. Taip pat naudoti statistiniai duomenų apdorojimo metodai matavimų metu gautų rezultatų apdorojimui. Visos paminėtos priemonės ir metodai leido tyrinėti keleto numatytų scenarijų įtaką ultragarsinių AZS sistemos jutiklių veikimui. Pagal gautus rezultatus atlikta tyrimo metu gautų netikslumų analizė, siekiant padidinti matavimo sistemos tikslumą ir patikimumą.

Reikšminiai žodžiai: akloji zona, atstumo matavimo jutiklis, ultragarsas, garso banga, imitacinis modelis, signalo amplitudė.

Įvadas

Vairuojant transporto priemonę, vairuotojai susiduria su automobilių konstrukcijos trūkumu – akląja zona. Akloji zona tai kelio plotas, kurio negalima matyti žiūrint į priekį pro priekinį stiklą arba naudojant galinio vaizdo ir šoninio vaizdo veidrodėlius. Ši problema labiausiai išryškėja, kai vairuotojas nori rikiuotis į kitą juostą ar daro posūkio manevrą. Taip pat ši problema gali atsirasti neteisingai suregulius transporto priemonės veidrodėlius. Remiantis Europos parlamento direktyva 2007/38/EC kiekvienais metais apie 400 žmonių žūsta patekę į eismo įvykį su sunkiasvorių priemonių vairuotojais, kurie dėl aklosios zonos negali tinkamai įvertinti eismo situacijos (Europos Komisija, 2012).

Kiekvienais metais keliuose daugėjant automobilių skaičiui didėja ir tikimybė patekti į eismo įvykį. Eismo įvykių tikimybei sumažinti gamintojai į naujus automobilius vis dažniau diegia aklosios zonos stebėjimo ir perspėjimo sistemas. Tačiau daugelis Lietuvos keliuose važinėjančių automobilių nėra nauji. Vidutinis automobilio eksploatacijos laikas yra 16 metų (Regitra, 2023), tad aklosios zonos stebėjimo sistemos šie automobiliai dažniausiai neturi. 2001 metais Volvo savo koncepciniame automobilyje pristatė aklosios zonos stebėjimo technologiją. (Volvo 2004; ID: 4923) Aklosios zonos stebėjimo sistemos padidina eismo saugumą, padeda vairuotojui geriau įvertinti eismo situacijas. Remiantis JAV greitkelių saugumo draudimo instituto (IIHS) 2017 metų tyrimo duomenimis, aklosios zonos stebėjimo įranga leido 14 proc. sumažinti eismo įvykių skaičių, kuriuose susiduria besirikiuojantys automobiliai (IIHS, 2017).

Daugelis automobilių gamintojų aklosios zonos stebėjimo ir perspėjimo sistemas įdiegia dar gamykloje ir pritaiko jas konkrečiam modeliui, tačiau yra antrinės rinkos aklosios zonos stebėjimo sistemų, kurias galima pritaikyti daugumoje transporto priemonių nepriklausomai nuo automobilio markės ar transporto priemonės tipo ir jų nereikia tiesiogiai jungti prie automobilio valdymo kompiuterio.

Darbo problema: kokie inžineriniai būdai ir metodai leistų suprojektuoti aklosios zonos stebėjimo (toliau AZS) sistemos maketą, kuris imituotų realios automobilio atstumo iki kliūtis sistemos veikimą?

Darbo tikslas: suprojektuoti aklosios zonos stebėjimo sistemos maketą, kuris imituotų sistemos veikimą realiu laiku ir atlikti sistemos tyrimą naudojant skirtingus scenarijus ir kliūtis.

Darbo uždaviniai:

1. Nustačius aklosios zonos stebėjimo sistemos techninius parametrus ir funkcijas atlikti panašių sistemų lyginamąją analizę ir suprojektuoti AZS sistemą.

2. Naudojant skirtingas kliūtis, scenarijus ir atstumus iki kliūtis atlikti AZS sistemos tyrimą.

Numatomi tyrimo metodai ir priemonės: pirmojo uždavinio įgyvendinimui naudojami informacijos šaltinių apžvalga ir lyginamoji analizė. Remiantis atlikta analize ir įgyvendinant antrąjį uždavinį bus naudojami inžinerinio projektavimo metodai, o struktūrinės schemos, bei algoritmo sudarymas bus vykdomas pasitelkiant „Microsoft PowerPoint.net“ programą. Elektrinės principinės schemos ir montažinės plokštės modeliavimas bus atliekamas „Circuitmaker“ programa. Sistemos maketo programinio kodo rašymas atliekamas „STM32CubeIDE“ programa, taikoma C programavimo kalba. Tyrimai bus atliekami modeliuojant situacijas ir aplinką artimiausią realiai automobilių aplinkai.

Praktinė nauda ir pritaikymo galimybės: projektuojamą aklosios zonos stebėjimo sistemą galima pritaikyti mokymosi tikslams, naudoti kaip mokomąją priemonę Automobilių saugos ir komforto sistemos mokomajame dalyke. Taip pat atlikus modifikacijas bus galima pritaikyti realiose transporto priemonėse kurios šios sistemos neturi ar gamybos metais ši sistema nebuvo montuojama. Atstumo matavimo jutiklis aptiks kliūtį patenkančią į akląją zoną išpės vairuotoja vaizdiniu indikatoriumi ir papildomai aktyvuos garsinę indikaciją jei vairuotojas nuspręs atlikti rikiavimosi manevrą, kai aklojoje zonoje yra kitas automobilis. Sistemos naudojimas automobiliuose sumažintų eismo įvykių tikimybę, padėtų tinkamiau vairuotojui įvertinti eismo sąlygas. Taip pat naudojant aklosios zonos stebėjimo sistemą sumažėtų vairavimo metu patiriamas krūvis, dėl pastovaus eismo sąlygų analizavimo.

Straipsnis sudarytas iš dviejų dalių. Pirmojoje dalyje nustatytos aklosios zonos stebėjimo sistemos parametrai ir funkcijos. Atliktas analogiškų sistemų palyginimas. Antrojoje straipsnio dalyje sudaryta struktūrinė schema, sistemos veikimo algoritmas, atliktas suprojektuotos sistemos testavimas ir derinimas. Trečioje aprašoma tyrimo eiga it pateikiami tyrimo rezultatai skirtingais scenarijais.

Aklosios zonos stebėjimo sistemų analizė

Projektuojamos aklosios zonos stebėjimo sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos:

- Maitinimo įtampa – 12 V.
- Sistemos darbinė temperatūra nuo -30 iki +80 °C.
- Atstumo nustatymo funkcija. Jutiklio maksimalus matavimo atstumas 3-4 metrai, matavimo kampas ne mažiau 15 laipsnių.
- Įjungimo/išjungimo funkcija.
- Įjungimo/išjungimo funkcija.
- Mobilumo funkcija.
- Vaizdinė išpėjamoji indikacija.
- Garsinė indikacija.
- Vaizdinė indikacija atstumo iki kliūties.

TOYOTA CAMRY BSM. BSM tai „TOYOTA“ gamyklinė aklosios zonos stebėjimo sistema kuri naudojama daugelyje „TOYOTA“ modelių (TOYOTA, 2022) parodyta 1 paveikslėlyje.

„TOYOTA CAMRY 2016“ BSM techninės charakteristikos ir funkcijos:

- 12 V maitinimo įtampa - nuo automobilio akumulatoriaus.
- Darbinė temperatūra nuo -40 °C iki +85 °C laipsnių.
- Įjungimo/išjungimo funkcija – sistemą turi įjungimą išjungimą.
- Atstumo nustatymo funkcija, naudojamas radaro jutiklis.
- Vaizdinė indikacija – LED indikatoriai sumontuoti veidrodėlių korpuse ir BSM mygtuke.



1 pav. Aklosios zonos stebėjimo sistemos vaizdinis indikatorius „TOYOTA CAMRY 2016“

Šaltinis: Toyota Blind Spot Monitor and Rear Cross-Traffic Alert, 2018, [Toyota Blind Spot](#)

MERCEDES-BENZ GLS 2022“ aklosios zonos stebėjimo sistema. Ši sistema (2 pav.), neskaitant standartinių funkcijų tokių, kaip kliūtis aptikimas, išpėjančios vaizdinės indikacijos turi papildomą garsinę indikaciją (Mercedes-Benz, 2022). Garsinė indikacija prideda papildomo saugumo, antrina vaizdinei indikacijai. Vairuotojas gali geriau įvertinti eisme pasitaikiusias situacijas.

„MERCEDES-BENZ GLS 2022“ aklosios zonos sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos:

- 12 V maitinimo įtampa - nuo automobilio akumulatoriaus.
- Darbinė temperatūra nuo -40 °C iki +85 °C.
- Įjungimo/išjungimo – sistema turi įjungimą išjungimą.
- Atstumo nustatymo funkcija. Naudojamas radaro jutiklis.
- Vaizdinė indikacija.
- Garsinė indikacija.



2 pav. Aklosios zonos stebėjimo sistemos vaizdinis indikatorius „MERCEDES-BENZ GLS 2022“

Šaltinis: Mercedes-Benz Blind Spot Assist, 2023, [Mercedes Benz Blind Spot](#)

Aklosios zonos stebėjimo ir perspėjimo sistemų palyginimas pagal išsikeltus reikalavimus projektuojamai sistemai pateiktas žemiau esančioje 1 lentelėje.

1 lentelė

Aklosios zonos stebėjimo sistemų palyginimas pagal technines charakteristikas

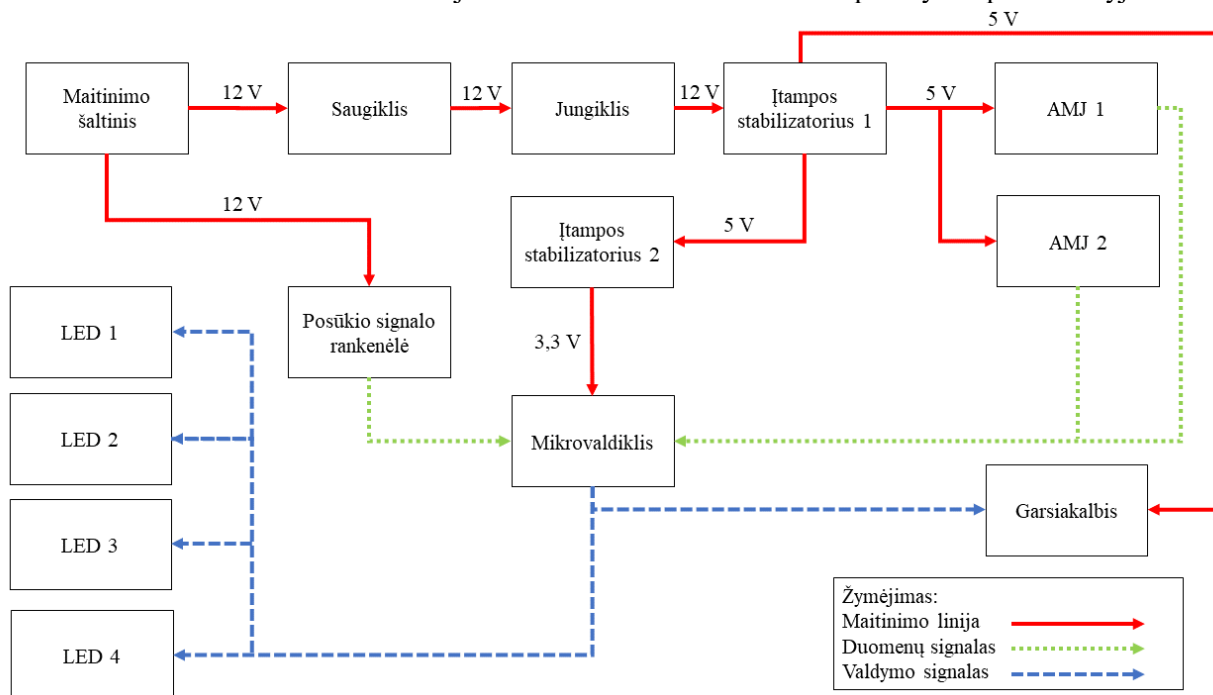
Sistemos pavadinimas	„Toyota BSM“	„Mercedes-Benz“ aklosios zonos sistema
Techninės charakteristikos ir funkcijos		
Maitinimo įtampa 12 V DC	+	+
Darbinė temperatūra nuo -30 °C iki +80 °C	+	+
Atstumo matavimo funkcija	+	+
Ijungimo/išjungimo funkcija	+	+
Mobilumo funkcija	-	-
Vaizdinė indikacija	+	+
Garsinė indikacija	-	+

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus aklosios zonos stebėjimo ir perspėjimo sistemų analizę, nustatyta, kad palygintos Toyota BSM ir Mercedes-Benz aklosios zonos sistemos turi daug panašumų. Abi sistemos yra maitinamos 12 V DC įtampa, pritaikytos veikti nuo -30 °C iki +80 °C, turi sistemos įjungimo/išjungimo galimybę, atstumo matavimo funkciją bei vaizdinę indikaciją. Tačiau, nei viena iš palygintų sistemų neturi mobilumo funkcijos, jų negalima pritaikyti senesniuose ar kito gamintojo automobiliuose ir tik „Mercedes-Benz“ aklosios zonos sistema turi garsinę indikaciją.

Aklosios zonos stebėjimo sistemos projektavimas ir tyrimas

Automobilio aklosios zonos stebėjimo sistemos struktūrinė schema parodyta 3 paveikslėlyje.



3 pav. Aklosios zonos stebėjimo sistemos struktūrinė schema

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagrindiniai automobilio AZS sistemos elementai:

Akumuliatorius – automobilyje įrengtas 12 V įtampos šaltinis.

Įtampos stabilizatorius LM7805 – įtampos stabilizatorius stabilizuos įtampą iš 12 V DC į 5 V kurie reikalingi ultragarsinių jutiklių ir garsiakalbio maitinimui (Texas Instruments Incorporated, 2004).

Įtampos stabilizatorius LD1117V33 – sistemoje naudojamiems komponentams reikalingos skirtingos įtampos todėl naudojamas papildomas LD1117V33 įtampos stabilizatorius kuris iš 5 V DC stabilizuos įtampą į 3,3 V reikalingą mikrovaldikliui (STMicroelectronics, 2020).

Atstumo matavimo jutiklis – atstumo matavimo funkcijai įgyvendinti pasirinktas naudoti ultragarsinis jutiklis HC-SR04. Šis jutiklis gali matuoti nuo 0,02 m iki 4 m atstumą 15 laipsnių kampu, jutiklio tikslumas yra iki 3 mm (Cytron Technologies Sdn, Bhd. 2012), todėl yra tinkamas pasirinktai projekto idėjai įgyvendinti.

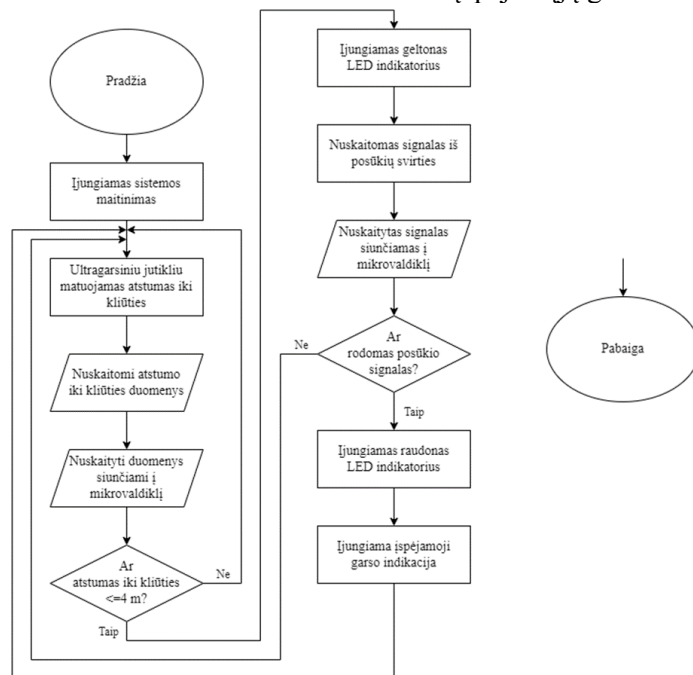
Mikrovaldiklis – pasirinktas „STM32F407VGT6“ mikrovaldiklis. Šis mikrovaldiklis pasirinktas, nes jo maitinimo įtampa yra nuo 1,8 V iki 3,6 V todėl yra taupus ir suvartoja mažai elektros energijos. Turi pagrindines komunikacijų „I2C“, „UART“, „USART“, „SPI“ protokolus, todėl lengva komunikuoti su jutikliais. Darbinė temperatūra nuo -40 iki +85 °C (STMicroelectronics, 2012). Renkantis mikrovaldiklį buvo atsižvelgta ir į tai, kad „STMicroelectronics“ gamintojo gaminiai turi plačią ir lengvai suprantamą dokumentaciją.

Šviesos diodai: Geltonas – vaizdinei indikacijai atvaizduoti parinkti geltoni šviesos diodai. Šviesos diodų maitinimo įtampa 2 V, srovė 0,02 A darbinė temperatūra nuo -40 °C iki +85 °C (Kingbright, 2021). Pagal šias technines charakteristikas įvertinta, kad šviesos diodai tinkami projektuojamai sistemai. *Raudonas* – papildomai pavojaus vaizdinei indikacijai atvaizduoti parinkti raudoni šviesos diodai. Raudonų šviesos diodų maitinimo įtampa 2 V, srovė 0,03 A darbinė temperatūra nuo -40 iki 80 °C (Kingbright, 2020). Pagal šias technines charakteristika įvertinta, kad šviesos diodai tinkami naudoti projektuojamoje sistemoje.

Saugiklis (prieš jungiklį) – sistemai apsaugoti parinktas 15 A saugiklis, kuris sistemą apsaugos nuo srovės didesnės už 15 A.

Elektrinės principinės schemos sudarymas. Schemai sudaryti naudojama „Circuitmaker“ programinė įranga. Elektrinės principinės schemos sudarymui bus naudojamas mikrovaldiklis, du įtampos stabilizatoriai, du atstumo matavimo jutikliai, keturi šviesos diodai, jungiklis, saugiklis.

Programos algoritmo sudarymas. Aklosios zonos stebėjimo sistemos veikimui reikalingas programinis kodas. Prieš rašant programinę dalį sudaromas programos algoritmas. Veikimo algoritmas pradedamas nuo sistemos maitinimo. Sistemai gavus maitinimą ultragarsiniai jutikliai pradeda matuoti atstumą iki kliūtis, nuskaityti duomenys siunčiami į mikrovaldiklį. Jei mikrovaldikliui gauti atstumo duomenys $\leq 4\text{ m}$ įjungiamas geltonas LED indikatorius. Papildomai nuskaitomas signalas iš posūkio svirties, jei mikrovaldiklis pagal gautą signalą įvertina, kad įjungtas posūkio signalas, kai aklojoje zonoje yra kliūtis - įjungiamas papildomas raudonas LED indikatorius su įspėjamąją garsine indikacija.



4 pav. Aklosios zonos stebėjimo sistemos mikrovaldiklio programos algoritmas

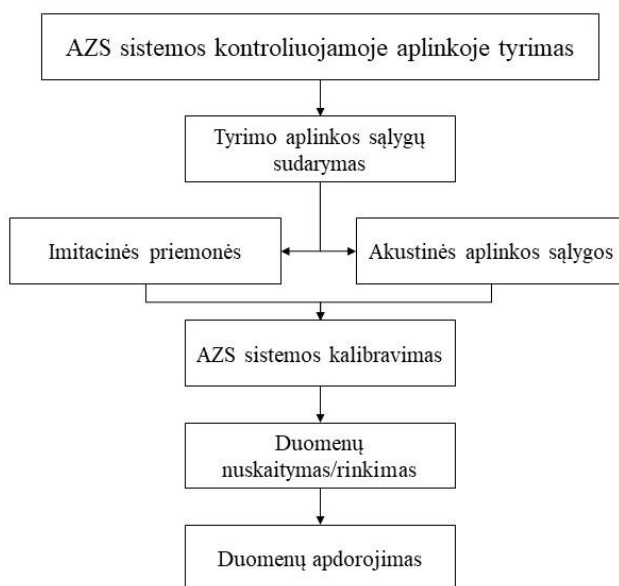
Šaltinis: sudaryta autorių

Sudarytos sistemos algoritmas pabaigos neturi, kadangi, algoritmas kartojasi kol sistema gauna maitinimą. Aklosios zonos stebėjimo sistemos mikrovaldiklio programos algoritmas pateiktas 4 paveikslėlyje.

Atliekant tyrimą naudota suprojektuota ir pagaminta AZS sistema ir atsižvelgta į sekančius veiksniai:

- Tyrimo ir ultragarsinių bangų plitimo sąlygos. Atmosferos parametrai gali paveikti ultragarso plitimą. Aplinkos tipas ir būklė, per kurią eina ultragarso bangos, taip pat turi įtakos. Oro temperatūra daro įtaką garso greičiui. Tyrime naudotos medžiagos ir priemonės: Objektų forma ir sudėtis, su kuriais sąveikauja ultragarsinis signalas. Tyrimo metu įvertinti: triukšmo lygis (aplinkos triukšmo lygis gali įtakoti jutiklio jautrumą ir matavimų tikslumą) ir elektromagnetinis poveikis (elektromagnetiniai laukai ir kiti signalai gali veikti ultragarsinio jutiklio elektroniką). Prieš tyrimą atliktas sistemos kalibravimas (kad atsižvelgti į galimus nuokrypius ir gauti tikslesnius rezultatus).

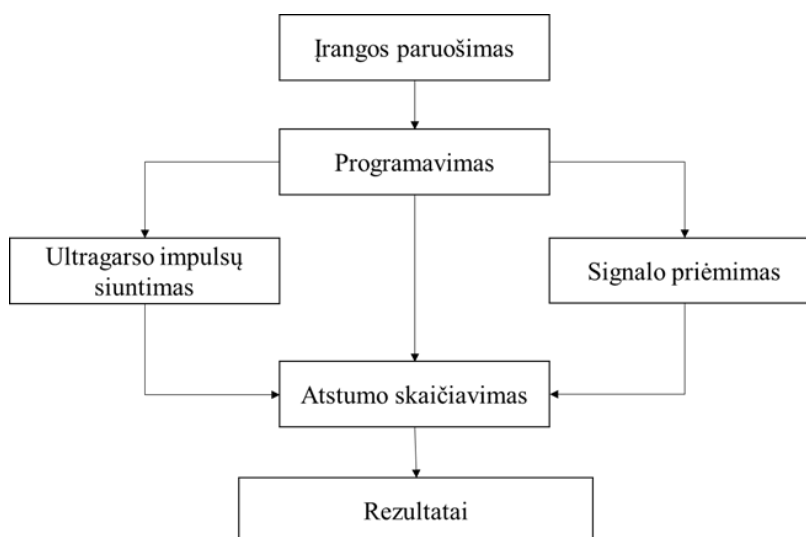
Tyrimo preliminarūs etapai pateikti 5 pav. Ultragarsinio jutiklio atstumo matavimo bandymams su skirtingais objektais pagamintais iš medžiagų, naudojamų automobilių gamyboje (plastikas, polikarbonatas, plienas, aliuminis, chromas).



5 pav. Matavimų su AZS sistema principas

Šaltinis: sudaryta autorių

Rezultatai kitomis tyrimo sąlygomis gali skirtis, priklausomai nuo metodų taikymo ir aplinkos. AZS sistemos eksperimentinių veiksmų etapai etapai pateiktas 6 paveikslėlyje.



6 pav. AZS sistemos paruošimo tyrimui etapai

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo vieta – KTK RoboTech laboratorija. Pagrindinės bandymų aplinkos charakteristikos: vandens temperatūra 19 laipsnių, patalpos 22 laipsniai, santykinis oro drėgnumas 40 proc., elektrinis laukas vidutiniškai 20 V/m, magnetinis laukas 0,02 μ T, laboratorijoje laikytasi tylos.

Tyrime naudotų objektų geometriniai matmenys:

- ✓ Plastikinis dangtelis 0,1100 m ilgis; 0,0250 m plotis; 0,1000 m aukštis.
- ✓ Chromuotas popierius 0,1080 m ilgis; 0,0001 m storis 0,0950 m aukštis.
- ✓ Posūkio signalas (polikarbonatas) 0,1200 m ilgis; 0,0700 m plotis; 0,0700 m aukštis.
- ✓ Variklio valdymo kompiuteris (plienas) 0,2100 m ilgis; 0,1550 m plotis; 0,050 m aukštis.
- ✓ Aliuminis ortakis 0,3950 m ilgis; 0,1200 m diametras.

Bandymuose naudotas AZS sistemos prototipas su ultragarsiniu jutikliu kuris matuoja atstumą iki kliūties, rezultatų tikslumui patikrinti naudota 2 tikslumo klasės ruletė.

Norint pasiekti matavimų tikslumą ir patikimumą reikia kalibruoti sistemą. Prieš pradedant tyrimą buvo naudoti sekantys jutiklių kalibravimo proceso etapai:

1. Standartinio atstumo nustatymas. Išmatuojamas atstumas tarp ultragarsinio jutiklio ir objekto, kuris bus laikomas standartiniu. Šis atstumas (l_{stand}) nustatomas pagal formulę:

$$l_{\text{stand}} = l_{\text{išm}} \cdot k_{\text{išm}}, \quad (1)$$

čia: $k_{\text{išm}}$ - koeficientas, priklausantis nuo konkretaus konteksto ir standarto, $l_{\text{išm}}$ išmatuotas atstumas.

2. Garso bangos greičio nustatymas (Hakulinen, 2006). Atsižvelgiant į oro temperatūrą, nustatomas oro garsinės bangos greitis, nes tai gali paveikti ultragarso jutiklio atstumo skaičiavimus. Kadangi ultragarso bangos greičiui (v_{gar}) turi įtakos temperatūra (T), tai:

$$v_{\text{gar}} = v_0 \sqrt{\frac{T_k}{T_0}}, \quad (2)$$

čia: v_0 – ultragarso bangos greitis esant standartinėms sąlygoms (22 laipsnių kambario temperatūroje $v_0 = 343$ m/s), T_k – yra oro temperatūra matavimo metu, T_0 - pradinė temperatūra ($T_0 = 273,15$ K).

Ši formulė leidžia atsižvelgti į oro temperatūros pokyčius ir skaičiuoti ultragarso bangos greitį prie skirtingų temperatūrų.

3. Laiko uždelimo koeficiento koregavimas. Įtraukiamos laiko uždelimo korekcijos, kad būtų atsižvelgta į įvairius veiksnus, tokius kaip signalo perdavimo ir apdorojimo uždelimas. Laiko atskaitos veiksnio (*time delay factor*) skaičiavimas gali priklausyti nuo įvairių veiksnių, tokių kaip temperatūra ir tt. Paprastai korekcijos skaičiuojamos pagal formulę (Ling J. S., Sanny J., Moebs W, 2016):

$$t_{\text{kor}} = t_{\text{išm}} \sqrt{\frac{T_k}{t_{\text{išm}}}}, \quad (3)$$

čia: t_{kor} - koreguota laiko atskaitos veiksnio reikšmė, $t_{\text{išm}}$ - išmatuotas laiko atskaitos veiksnio reikšmė, T_k – koreguota laiko uždelimo faktorius.

Ši korekcija susijusi tik su temperatūros pokyčiais patalpoje, tačiau galima įtraukti ir kitus veiksnus.

4. AZS sistema patikrinama skirtingais atstumais. Patikrinamas sistemos ultragarso jutiklio veikimas skirtingais atstumais, įskaitant standartinį atstumą (l_{stand}), tam, kad įsitikinti jos tikslumu.

5. Proceso pakartojimas. Pakartojimas reikalingas jei atsiranda kitos ar kintančios aplinkos sąlygos.

6. Gautų rezultatų apdorojimas naudojantis matematinės statistikos metodais.

Ultragarso banga aprašomas sinusoide (Ling J. S., Sanny J., Moebs W, 2016):

$$u(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi), \quad (4)$$

čia: A – signalo amplitudė, t – laikas, ω – kampinis dažnis, ϕ - fazės postūmis.

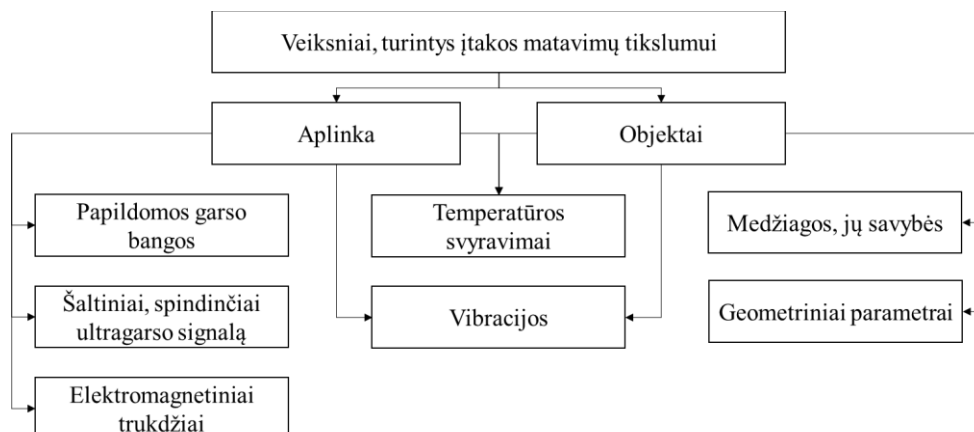
Norint prognozuoti ultragarso signalo savybes eksperimente numatytoje terpėje, įvertinta absorbcija, drėgmė ir temperatūra, kurie gali paveikti ultragarso bangų elgesį:

$$u(t) = A_0 \cdot e^{-(\alpha + \beta \cdot B + \gamma T)t} \cdot \sin(2\pi f t + \phi), \quad (5)$$

čia: A_0 – pradinė signalo amplitudė, e – Eulerio (Napierio) skaičius, natūraliojo logaritmo pagrindu kurio apytikslė reikšmė yra $e \approx 2,71828$, α – absorbcijos koeficientas, B – santykinis drėgnumas, T – temperatūra, f – bangų dažnis, β ir γ – koeficientai, nusakantys drėgmės ir temperatūros įtaką, nustatyti eksperimentais ir teoriniais modeliais, atsižvelgiant į tai, kaip kiekvienas faktorius veikia ultragarso bangų sklaidimą patalpoje. $\sin(\omega t + \phi)$, nurodo svyravimų periodiškumą, o $e^{-\alpha t}$ atspindi eksponentinį mažėjimą.

Formulė (4) parodo sinusoidinės bangos savybes, o antroji (5) prideda papildomų eksponentinių veiksnių, kurie atspindi ultragarsinių bangų energijos mažėjimą laiko tarpe.

Veiksniai, kurie gali turėti poveikį atliekamo tyrimo ultragarsiniams matavimams bei gautiems rezultatams pateikti 7 paveiksle. Visi paminėti veiksniai tyrimo metu įvertinti.



7 pav. Veiksniai, turintys įtakos matavimų tikslumui
Šaltinis: sudaryta autorių

Suprojektuotos automobilio AZS sistemos tyrimo rezultatai. Atlikti matavimai (8 pav.) skirtingais atstumais l , skirtingais scenarijais (Li), bei naudojant skirtingus objektus:

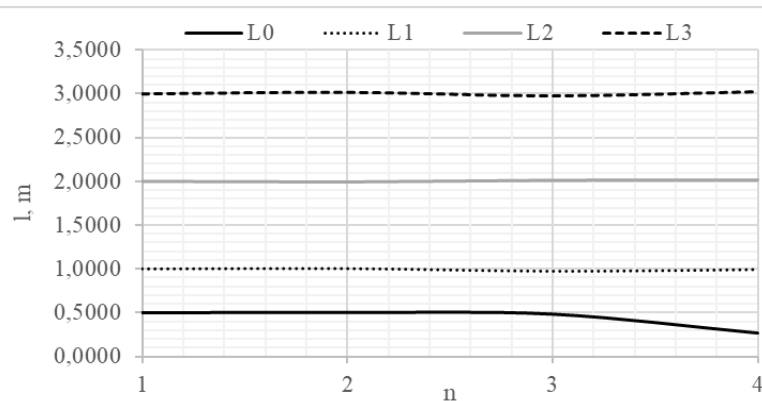
1. Pradinės sąlygos matavimų sąlygos (kalibravimo rezultatai) - L0.
2. Numatytos standartinės matavimų sąlygos - L1 (8 pav.).
3. Sudarant sudėtingesnes matavimų sąlygas: Purškiant vandens dulksną - L2.
4. Sudarant sudėtingesnes matavimų sąlygas: Priešais objektą pastatant ortakį - L3 (10 pav.).



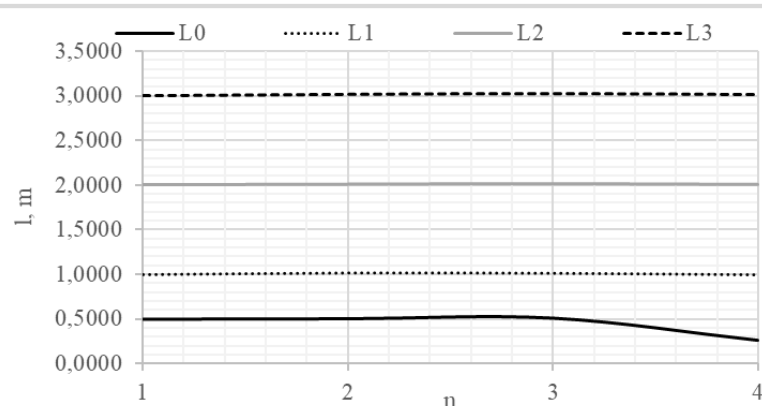
8 pav. Matavimai su AZS sistema standartinėmis sąlygomis
Šaltinis: sudaryta autorių

Nustatytomis tyrimo sąlygomis atliktų matavimų rezultatai su skirtingais objektais pateikti 9 paveikslėlyje.

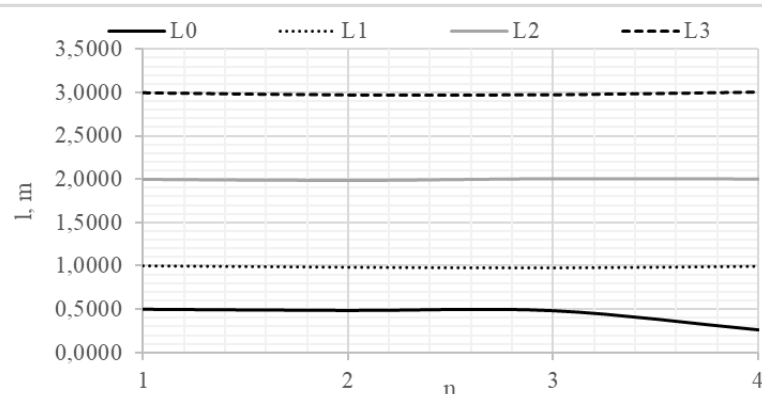
a)



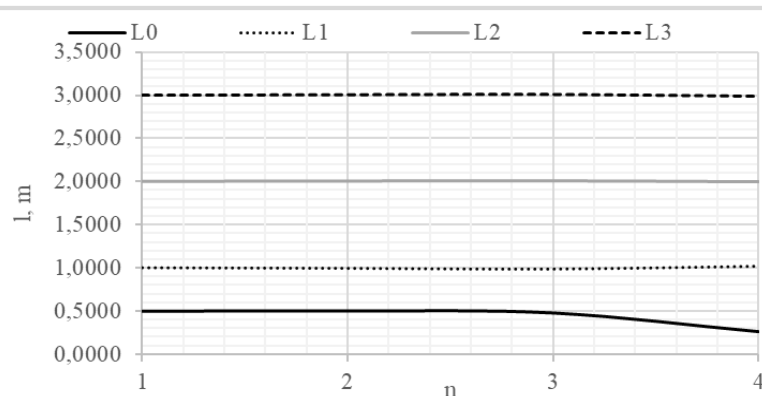
b)



c)



d)



9 pav. Bandymų su skirtingais objektais gauti matavimų rezultatai kai kliūtis yra: a) plastikinis žibinto dangtelis, b) chromuotas popierius, c) posūkio žibintas (polikarbonatas), d) variklio VB (plienas)

Šaltinis: sudaryta autorių

Eksperimento metu nustatyta, kad kuo arčiau kliūtis (objektas) nuo jutiklio tuo sistemos pateikiamas atstumas turi didesnę paklaidą. Žymi paklaida atsiranda esant papildomoms sąlygoms, tokioms kaip vanduo (L3 bandymas), ir padidėja kai priešais kliūtį pastatomas ortakis (L4 bandymas). Kadangi signalas nuo sistemos sklinda pirmyn ir pasiekęs objektą grįžta atgal, esant papildomoms kliūtims sumažėja ultragarsinio

jutiklio deklaruojamas atstumas iki kliūties. AZS sistemai esant iki kliūties numatytais atstumais minimalios ir maksimalios paklaidos reikšmės pateiktos 2 lentelėje

2 lentelė.

AZS sistemai esant iki kliūties numatytu atstumu gautų rezultatų minimalūs ir maksimalūs skirtumai nuo numatytų atstumų

Nesutapimai Atstumas iki kliūties, m	Minimalus skirtumas		Maksimalus skirtumas	
	Skirtumas, m	Kliūties pavadinimas	Skirtumas, m	Kliūties pavadinimas
0,5	0,0020	plastikinis žibinto dangtelis	0,2386	chromuotas popierius
1,0	0,0023	chromuotas popierius	0,0231	plastikinis žibinto dangtelis
2,0	0,0044	posūkio žibintas (polikarbonatas)	0,0179	chromuotas popierius
3,0	0,0069	variklio VB (plienas)	0,0270	posūkio žibintas (polikarbonatas)

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš 2 lentelėje pateiktų rezultatų apibendrinimo nustatyta, kad tiek didžiausias tiek mažiausias nuokrypis atsiranda atlikus matavimus, kai atstumas iki kliūties yra 0,5 m. Tad galima daryti prielaidą, kad jutiklio parodymai esant mažesniems atstumams bei sudėtingesnėms sąlygom (L2 ir L3 scenarijai) skirtumai nuo numatytų atstumo reikšmių turi tendenciją didėti. Taip pat mažuose atstumuose ultragarso gali patirti daugybę interferencijos ir atspindžių efektų dėl per arti esančių aplinkos kūnų (ultragarsinės bangos gali atsispindėti arba sąveikauti). Tai gali sukelti neteisingus matavimus arba netikslius rezultatus, nes ultragarso signalo gauti parodymai gali būti iškraipomi. Be to, dėl mažų atstumų, gali kilti daugybė kitų trikdžių, tokių kaip dispersija, garso bangų absorbcija, o taip pat ir triukšmas, kuris gali iškreipti matavimų rezultatus.



10 pav. Matavimų scenarijus L3, kai priešais kliūtį pastatytas ortakis

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus matavimo rezultatų analizę nustatyta kad vanduo gali paveikti ultragarso jutiklio parodymus ypatingai mažais atstumais dėl šių priežasčių:

- Ultragarso bangų absorbcija. Kai kurios medžiagos turi didelį ultragarso bangų sugėrimo gebėjimą. Tai reiškia, tam tikras ultragarso energijos kiekis gali būti „sugertas“ vandenyje, mažinant signalo intensyvumą jį praeinant per vandenį.
- Ultragarso bangų sklaida. Vanduo gali išsklaidyti ultragarso bangas dėl slėgio ir sudėties pokyčių vandenyje. Tai gali sukelti ultragarso bangų krypties pokyčius ir sumažinti jų efektyvų nuotolį.
- Ultragarso bangų atspindys. Vanduo ar kitos medžiagos gali atspindėti ultragarso bangas, priklausomai nuo jų paviršiaus savybių. Nelygus paviršius arba kliūtys gali sukelti ultragarso atspindžius.
- Akustinis triukšmas. Vandenyje gali būti įvairių akustinio triukšmo šaltinių, tokie kaip garsai iš judančių vandens objektų, kas taip pat gali paveikti ultragarso matavimų kokybę.
- Amplitudės ir dažnio pokyčiai. Ultragarso, praeinantis per vandenį, gali keisti savo amplitudę ir dažnį, priklausomai nuo vandens sąlygų, o tai gali turėti įtakos atstumo matavimo rezultatų tikslumui.

- Sąlygų sudėtingumas (L2 ir L3 scenarijai). Papildomos sąlygos, tokios kaip vandens purškimas arba ortakio pastatymas, gali dar labiau paveikti ultragarso bangų plitimą ir atspindį, sukeliant netikslius matavimus.

Šios prielaidos gali būti svarbios ir naudingos tolimesniam eksperimentui ir matavimų proceso optimizavimui, darant prielaidas apie objektų (kliūties) tikslumą ir jutiklio patikimumą. Į tai reikėtų atsižvelgti, projektuojant ar naudojant ultragarso matavimo sistemą.

Išvados

1. Atlikus aklosios zonos stebėjimo ir perspėjimo sistemų analizę, palygintos Toyota BSM ir Mercedes-Benz aklosios zonos sistemos ir nustatyta, kad šios sistemos turi daug panašumų, tačiau, nei viena iš palygintų sistemų neturi mobilumo funkcijos, jų negalima pritaikyti senesniuose ar kito gamintojo automobiliuose ir, kad tik „Mercedes-Benz“ aklosios zonos sistema turi garsinę indikaciją. Kuriant AZS sistemą buvo atsižvelgta į atliktą analizę. Sukurta AZS sistema turi ultragarsinį atstumo matavimo jutiklį HC-SR04. Šis jutiklis gali matuoti nuo 0,02 m iki 4 m atstumą, todėl eksperimentui buvo pasirinkti 0,5 m, 1,0 m., 2 m. bei 3,0 m. atstumai iki kliūties. Mikrovaldiklis – pasirinktas „STM32F407VGT6“ mikrovaldiklis, nes suvartoja mažai elektros energijos. Turi pagrindines komunikacijų „I2C“, „UART“, „USART“, „SPI“ protokolus, ir galimybę komunikuoti su jutikliais bei plačią ir lengvai suprantamą dokumentaciją.

2. Atliekant AZS sistemos matavimus esant numatytiems atstumams iki kliūties, skirtingais scenarijais ir naudojant skirtingus kliūties objektus, nustatyta kad minimalus nukrypimas nuo nustatytų reikšmių atsiranda matuojant objektą didesniuose atstumuose, maksimalus – mažesniuose. Tiek didžiausias, tiek mažiausias skirtumas tarp matavimų, atsiranda kai atstumas iki kliūties yra 0,5 m. Galima daryti prielaidą, kad jutiklio parodymų, esant mažesniems atstumams bei sudėtingesnėmis sąlygomis (L2 ir L3 scenarijai), skirtumai nuo numatytų atstumų reikšmių gali kisti tiek į didesnę tiek į mažesnę puses. Atlikus bandymus, prie 0,5 m atstumo iki kliūties, nustatyta maksimali skirtumo reikšmė 0,2386 m. Atlikus rezultatų analizę suformuluota išvada, kad matavimų rezultatų gautų matuojant su AZS tikslumas gali skirtis priklausomai nuo aplinkos veiksnių. Įvertinus eksperimento sąlygas nustatyta, kad rezultatų tikslumui turi įtakos vandens temperatūra, akustinis triukšmas bei amplitudės ir dažnio pokyčiai. Rekomenduojama atliekant matavimus su kitu ultragarsiniu jutikliu atsižvelgti ne tik į technines jutiklio charakteristikas, bet ir į aplinkos sąlygas.

Literatūra

1. 3.3V Voltage Regulator 950mA LD1117V33 (LD33V) [žiūrėta 2023-10-06]. Prieiga per internetą: <https://www.addicore.com/products/3-3v-voltage-regulator-950ma-ld1117v33-ld33v>.
2. Blind Spot Assist [žiūrėta 2023-11-22]. Prieiga per internetą: <https://www.mercedes-benz.com.sg/passengercars/mercedes-benz-cars>.
3. Blind Spot Monitor and Rear Cross-Traffic Alert [žiūrėta 2023-10-03]. Prieiga per internetą: https://engage.toyota.com/static/articles/10_5_2018_cfa_blind_spot_monitor_bsm_wrear_crosstraffic_alert_rcta/BSM_with_RCTA_CFA.pdf.
4. Europos parlamento direktyva 2007/38/EC [žiūrėta 2023-10-02]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/>.
5. Hakulinen M., Prediction of density, structure and mechanical properties of trabecular bone using ultrasound and X-ray techniques, 84 psl. SBN 951-27-0450-1 (PDF), ISSN 1235-0486, 2006.
6. L-7113SYCK-J3 T-1 3/4 (5mm) Solid State Lamp [žiūrėta 2023-10-08]. Prieiga per internetą: <https://www.kingbright.com/attachments/file/pdf>.
7. Lane departure warning, blind spot detection help drivers avoid trouble [žiūrėta 2023-10-04]. Prieiga per internetą: <https://www.iihs.org/news/detail/stay-within-the-lines-lane-departure-warning-blind-spot-detection-help-drivers-avoid-trouble>.
8. Mercedes-Benz GLS Operator's Manual + [žiūrėta 2023-10-03]. Prieiga per internetą: <https://www.mercedes-benz.co.th/en/passengercars/owners-manuals/en>.
9. Ling J. S., Sanny J., Moebs W., OpenStax 17.2 Speed of Sound, 2016. [žiūrėta 2023-10-28]. Prieiga per internetą: <https://pressbooks.online.ucf.edu/osuniversityphysics/chapter/17-2-speed-of-sound/>.
10. STM32F103VET6 SMD 32-Bit 72MHz Microcontroller LQFP-100 [žiūrėta 2023-10-06]. Prieiga per internetą: <https://www.direnc.net/stm32f103vet6-smd-32bit-72mhz-mikrodenetlevici-lqfp100-en>.
11. Transporto priemonių parko vidutinis amžius pagal kategorijas (2023 m. sausio 1 d. duomenys) [žiūrėta 2023-11-20]. Prieiga per internetą: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>.
12. User's Manual V1.0 September 2012 [žiūrėta 2023-11-07]. Prieiga per internetą: <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/HC-SR04.pdf>.
13. Volvo Car Corporation presents worlds-first systems for improved safety [žiūrėta 2023-10-04]. Prieiga per internetą: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/4923>.

14. WP7113ID T-1 3/4 (5mm) Solid State Lamp [žiūrėta 2023-10-08]. Prieiga per internetą: <https://www.kingbrightusa.com/images/catalog/SPEC/WP7113ID.pdf>.
15. μ A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS [žiūrėta 2023-10-05]. Prieiga per internetą: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.
16. Ling J. S., Sanny J., Moebs W, OpenStax 15.1 Simple Harmonic Motion, 2016. [žiūrėta 2023-11-15]. Prieiga per internetą: <https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion>.

DESIGNED CAR AZS SYSTEM RESEARCH, USING DIFFERENT POSSIBLE OBSTACLE OBJECTS AND CONDITIONS

Summary

The aim of this work is to design a mock-up of a blind spot monitoring system simulating the real system and to test the system using different scenarios and obstacles. The paper presents a study of a designed automotive blind spot monitoring system using an ultrasonic sensor. The AZS system is designed for cars that do not have this system or have not been fitted with this type of system. To achieve the intended objectives of the work, tests have been carried out under conditions close to vehicle operation. For the tests in a controlled environment, laboratory conditions with controlled parameters and scenarios were created. The ultrasonic sensor HC-SR04 was used in the study, which can replicate the performance of ultrasonic parking sensors. In addition, rain simulation tools were used to evaluate the performance and response of the ultrasonic systems. Modelling of the acoustic environment has been carried out considering the influence of water on the propagation of ultrasonic waves. Statistical data processing techniques were also used to process the results obtained from the measurements. All these tools and methods allowed to investigate the influence of several scenarios on the performance of the ultrasonic sensors of the AZS system. Based on the results obtained, an in-depth analysis of the system inaccuracies was carried out to improve the accuracy and reliability of the measurement system.

Key words: Blind spot, distance measurement sensor, ultrasound, sound wave, simulation model, signal amplitude.

DRĖGMĖS IR TEMPERATŪROS ĮTAKOS KABRIOLETO TIPO AUTOMOBILIO STOGO VALDYMO SISTEMAI TYRIMAS

Nojus Kačinskas, Laurynas Kolodzeiskis, Ainis Kiveris
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Kai kurie kabrioletų tipo automobilių modeliai neturi funkcijos, kuri galėtų apsaugoti automobilio saloną nuo išorinės drėgmės sukeltų pasekmių. O tai paveikia automobilio būklę, sugadinamas automobilio salonas, ar automobilyje esanti elektronika bei kitos judančios salone detalės. Šiame straipsnyje nagrinėjama kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistema, akcentuojama jos reakcija į oro sąlygas. Sistemoje naudojamas „DHT 22“ jutiklis matavo aplinkos temperatūrą ir santykinę drėgmę, o rezultatai buvo palyginti su Kauno miesto metrologinės stotelės duomenimis. Atliekant tyrimą buvo stebima, kaip šios kintamosios keitėsi laike ir kaip tai gali paveikti automatinio stogo valdymo sistemą.

Reikšminiai žodžiai: elektrinis stogas, valdymo mechanizmas, temperatūrinis jutiklis, drėgmė, metrologijos stotelė.

Įvadas

Paskutinį dešimtmetį automobilių pramonė liudijo pokytį judant link išmaniųjų technologijų įdiegimo, kurios gerina ne tik vartotojo patirtį ar kelią didesnę komforto jausmą naudojant automobilį, bet ir saugo vartotojus, kaip ir automobilį nuo įvairiausių išorinių pavojų ar dirgiklių. Viena iš pastebėtų problemų yra automobilio su kabrioletų tipo konstrukcija. Šio tipo automobiliai yra labai patrauklūs šiomis dienomis, tačiau pagal atliktą tyrimą šių automobilių gaminimas nuo 2000 m. iki 2008 m. sumažėjo 4,59 % (E. Duca, et al, 2011). Šių automobilių su minkšto tipo stogu konstrukcija yra 10 % saugesnė, o kietos stogo konstrukcijos 8 % saugesnis lyginant su „coupe“ konstrukcijos automobiliais (HLDI et al, 2022). Taip pat, kabrioletų tipo automobilių, su atveriamais jų stogais, bendras kėbulo konstrukcijos kietumas iš 12 000 N-m/deg. krenta iki 1700 N-m/deg. (J C. Brown, et al, 2002). Automobilis yra paliekamas atviru stogu, po atviru dangumi. Automobilis su užvertu stogu, kuris yra juodos spalvos jo salono temperatūra kyla 5 °C automobilio (I.R Dadour et al, 2010). Gamtoje egzistuoja 3 matavimai drėgmės matavimai, absoliuti, reliatyvi, ir specifinė. Absoliuti drėgmė apibūdina vandens kiekį ore, dažniausiai matuojama gramais kubiniame metre. (P.Tran, et al, 2021) Sušalus ar sušlapus atsiranda sveikatos sutrikdymai nuo kurių galima ir apsisaugoti. Kaip minėta anksčiau automobilių gamintojai stengiasi integruotis su naujausiomis technologijomis. Vienas iš labai nusisėkusių tyrimų pavyko atlikti komandai kuri sugalvojo kaip aptikti kritulius su labai mažomis išlaidomis (E.A Otte et al. 2010). Tačiau galimybės apsisaugoti nuo aplinkos ar žmogaus padarinių šiuo metu tokio pobūdžio sistemos nėra įdiegtos nei viename kabrioletų tipo automobilyje.

Darbo problema: kokie inžineriniai sprendimai leistų suprojektuoti kabrioletų tipo automobilio (toliau KASV) sistemą, kuri leistų apsaugoti vairuotoją ir keleivius nuo kritulių bei kokie metodai leistų nustatyti oro sąlygų poveikį šiai sistemai ?

Darbo tikslas: Suprojektuoti kabrioletų elektrinę stogo valdymo (toliau KESV) sistemą, kuri apsaugotų automobilį nuo kritulių ir atlikti drėgmės bei temperatūros įtakų sistemai tyrimą.

Darbo uždaviniai:

1. Nustačius projektuojamos elektrinio stogo valdymo sistemos techninius reikalavimus ir funkcijas. atlikti automobilių su elektriniais stogo valdymo mechanizmais sistemų apžvalgą ir lyginamąją analizę.
2. Suprojektavus automobilių elektrinio stogo valdymo sistemą atlikti temperatūros ir drėgmės įtakos sistemai tyrimą.

Temos aktualumas. Automobilių su kabrioletų tipo konstrukcija kelyje galima sutikti dažnai, tačiau nei vienas anksčiau pastebėtų automobilių neturi galimybės pats, uždaryti automobilio stogą, esant drėgmei. O tai gali apsaugoti ne tik automobilio saloną, ar elektronika, tačiau ir asmeninius daiktus.

Darbą sudaro trys dalys. Pirmoje dalyje naudojant literatūros šaltinių apžvalgą atlikta lyginamoji analizė, antroje naudojant inžinerinius metodus, pateikiama suprojektuota KASV sistema, o trečioje – statistinės analizės metodais nustatytas drėgmės bei temperatūros įtaka sistemai.

Kabrioletų tipo stogo valdymo sistemų apžvalga ir analizė

Projektuojamos kabrioletų tipo automobilio elektrinio stogo valdymo sistemos techninės funkcijos ir charakteristikos:

- Darbinė temperatūra nuo 0 °C iki 35 °C.

- Maitinimo įtampa 12 V DC.
- Temperatūros nustatymo funkcija.
- Kritulių jutiklis.
- Drėgmės nustatymo funkcija.
- Stogo uždarymo funkcija.
- Sistemos įjungimas/išjungimas.
- Sistemos mobilumas, pritaikymas įvairiems automobiliams, neturintiems šios sistemos.
- Galimybė X sistemą programuoti ir derinti.

Automatinė stogo uždarymo sistema „SmartTOP“. Įmonė „SmartTOP“ siūlo savo valdiklį automobiliams turintiems kabrioletų tipo konstrukcija. Ši įmonė yra pakankamai stipriai išsiplėtusi Amerikos rinkoje, tačiau jos įsigyti Europoje nėra galimybės, tad siūlomas tik būdas, kaip lietaus metu uždaryti stogą.

Jų gaminama sistema turi 3 funkcijas, „apgauti“ automobilio saugos sistemą ir leisti stogą uždaryti važiuojant didesniu greičiu nei yra nustatyta gamintojo. Uždaryti stogą nuotoliniu būdu naudojant pultelį. Bei trečioji funkcija taip pat naudojant pultelį atidaryti stogą. Tiesa abi pastarąsias funkcijas galima atlikti naudojant trumpųjų ryšių pultelį, kurį galima įsigyti papildomai.



1 pav. „SmarTOP“ sistema kabrioletų tipo automobiliams

Šaltinis: SmarTop systems, <https://www.mods4cars.com/>

„SmarTOP“ sistemos techninės charakteristikos.

- 12 V maitinimo įtampa – automobilio akumulatorius.
- Sistema visuomet maitinasi ir naudoja < 0,1 mA.
- Indikacija – nėra.
- Sistemos įrengimas reikalingas pagal automobilio modifikaciją.

Automatinė stogo uždarymo sistema „Porsche 911 Cabrio“ (2017). Automobilis, kurio gamybinė konstrukcija yra kabrioletų tipo, vadinamas „Porsche 911 Cabriolet“.



2 pav. Kritulių jutiklis „Porsche 911 Cabrio 2017 m“

Šaltinis TEILE.COM. Rain sensor with wiring harness, <https://teile.com/en/porsche-parts-shop/model-911-997>

Šiame automobilyje naudojami specialūs jutikliai, kurie yra įstatyti stogo viduje, kad aptiktų kritulius. Šių jutiklių veikimas yra pagrįstas šviesos lūžio principu.

Kritulių jutiklis „Porsche 911 Cabrio“ techninės charakteristikos:

- 12 V maitinimo įtampa – automobilio akumulatorius.
- Įjungimas/išjungimas – Numatytas sistemos valdymas naudojant papildomą įrangą, prieiga vartotojui nesuteikiama.
- Kritulių jutiklis – sumontuotas ant automobilio priekinio stiklo, galinio vaizdo veidrodėlio zonoje, salone.
- Indikacija – nėra.
- Reguliavimas – galimos funkcijų jautrumo derinimas.

Automatinė panoraminio stiklo uždarymo sistema „BMW E92 325“ (2010). Ši BMW automobilių serija turėjo kabrioletų tipo automobilius, tačiau pasirinkta būtent „E92“ serija dėl palyginamosios analizės, kaip turinti panašiausią sistemą, į numatomą projektuoti. Ši sistema turi kritulių jutiklį, lygiai taip pat reaguojantį į šviesos lūžio kampą, kurį sukuria **rasos taškas** (Lawrence, 2005). Vėliau ši sistema siunčia signalą į mikrovaldiklį, kuris paveikdamas relę, užveria kelią drėgmei pasiekti automobilio saloną.



3 pav. Kritulių jutiklis „BMW E92 325“

Šaltinis: BMW Rain sensor, <https://www.rain-sensor/>

Automatinė panoraminio stiklo uždarymo sistema „BMW E92 325“ techninės charakteristikos:

- 12 V maitinimo įtampa – automobilio akumuliatorius.
- Įjungimas/išjungimas – apie numatytas sistemos valdymą, naudojant papildomą įrangą, prieiga vartotojui nesuteikiama.
- Kritulių jutiklis – sumontuotas ant automobilio priekinio stiklo, galinio vaizdo veidrodėlio zonoje, salone.
- Indikacija – nėra.
- Reguliavimas – galimos funkcijos jautrumo derinimas.

1 lentelė

Panašių analoginių automobilių ir sistemos automobilio stogo valdymo palyginimas pagal technines charakteristikas

Techninės charakteristikos ir funkcijos \ Analoginės sistemos pavadinimas	„Porsche“ 911 2017 m. Stogo valdymo sistema	„SmartTOP“ stogo valdymo sistema	„BMW E92 325“
Temperatūros ribos nuo 0 iki 35 °C	+	-	+
Maitinimo įtampa 12 V DC	+	+	+
Drėgmės nustatymo funkcija	-	-	-
Sistemos mobilumas	-	+	-
Sistemos įjungimas/išjungimas	+	-	+
Stogo uždarymo funkcija/panoraminio stiklo uždarymo funkcija	-	+	+
Temperatūros nustatymo funkcija	-	-	-
Galimybė sistemą programuoti ir derinti	-	+	-
Kritulių jutiklis	+	-	+

Šaltinis: Sudaryta autorių

Atlikus panašių sistemų apžvalgą (1 lentelė), nustatyta, kad ne visuose sistemose naudojami kritulių jutikliai.

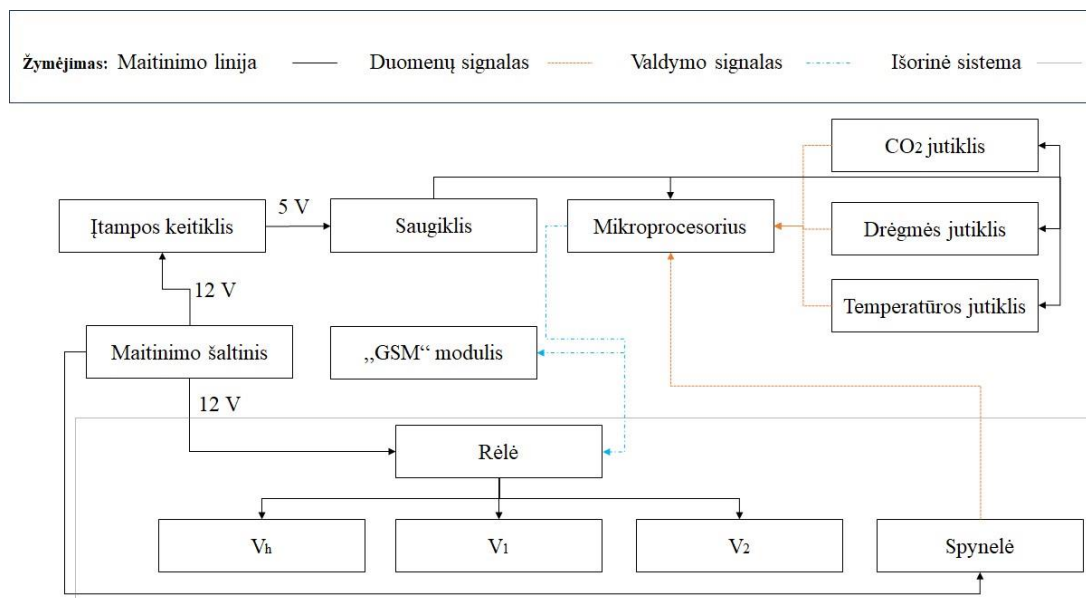
Duomenų apie „Porsche“ sistemos kritulių jutiklius autorių neaptiko. „BMW E92 325“ stogo uždarymo sistema, kaip ir automatinio langų uždarymo sistemos, veikia šviesos spindulio lūžio principu. Visų sistemų kritulių jutiklio ar įjungimo/išjungimo vieta yra tokia pati, nors ir skiriasi automobilių gamintojai, tačiau konstrukcijos numatytoji vieta išlieka ta pati. Ši sistema į automobilius yra diegiama gamykliškai. „BMW“ automobilių gamintojas yra artimiausias kuriamos sistemos pavyzdys. Sistema „SmartTOP“ leidžia keisti gamyklinius nustatymus, būti perprogramuota ir vartotojui uždaryti stogą važiuojant didesniu greičiu nei numatyta, nors tai gali pažeisti automobilio stogo mechanizmo konstrukciją.

Kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos bandymai realiomis sąlygomis

Kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos struktūrinė schema pavaizduota 4 paveikslėlyje. Automobilio elektrinio stogo uždarymo sistemą sudaro:

Akumulatorius – automobilio 12 V įtampos maitinimo šaltinis. *Įtampos keitiklis* – sistemai bus naudojamas LM317 elektros įtampos keitiklis, kuris automobilio akumulatoriaus 12 V įtampą konvertuos į 5 V įtampą, per saugiklį link pagrindinio sistemos valdiklio.

Mikrovaldiklis – bus naudojamas „ATMEL MEGA 328P“ mikrovaldiklis turi reikalingą kiekį įvesties ir išvesties jungčių, taip pat pasižymi USB, UART, I2C, SPI sąsajos galimybėmis. Dėl šių techninių charakteristikų, „ATMEL MEGA 328P“ mikrovaldiklis bus naudojamas išanalizuoti gaunamą informaciją bei ją tinkamai išvesti skirtingais sistemos veikimo procesais. Dėl pasirinkto mikrovaldiklio savybių, sistemą ir jos veikimą bus galima tobulinti bei supaprastinti.



4 pav. Kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos struktūrinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Temperatūros jutiklis – pasirinktas „DHT 22“ viduje esantis temperatūrinis jutiklis kuris bus naudojamas išorinės temperatūros nustatymui.

Drėgmės jutiklis – Naudojamas anksčiau įvardintas „DHT 22“ jutiklis kurio viduje yra įdiegtas drėgmės jutiklis, šis jutiklis yra pagrindinis sistemos veikimą įtakojantis jutiklis kuriam nuskaičius staigų drėgmės šuolį. Šį signalą nuskaitęs „ATMEL MEGA 328P“ mikrovaldiklis, aktyvins siunčiamu signalu reles ir automobilio stogas bus uždaromas.

Užterštumą nustatantis jutiklis – Kitaip „CO2“ jutiklis šioje sistemoje yra numatytas, kaip papildoma funkcija ateityje, nustačius padidėjusias kenksmingas medžiagas, ši sistema galėtų taip pat užverti automobilio stogą, įvykdant anksčiau išvardintas funkcijas.

Jungtukas – Šioje sistemoje jungtuko funkcija atlieka spynelę, kada automobilyje, raktelis bus pasiekęs bent, 1 padėtį – sistema nebus aktyvi. Sistema skaitysi aktyvia, jei atitiks iškeltas sąlygas, jog automobilio stogas atidarytas, ir automobilis yra paliktas stovėjimo padėtyje.

Saugiklis „prieš visą sistemą“ – Sistema taip pat turi būti tinkamai apsaugoti, dėl to yra naudojamas apskaičiuotas 7,5 A. saugiklis, kuriam suveikus elektrinė stogo uždarymo sistema bus nepažeista, nes bus nutraukta pagrindinė elektrinė grandinė.

Mikrovaldiklis maitinamas nuo 3 V iki 5 V įtampa, kuria sugeneruoja stabilizatorius gaudamas pagrindinę 12 V įtampą iš automobilio akumulatoriaus. Įtampa yra tiekama visą laiką ir ramybės būsenoje, didžiausias galimas vartojamas siekiamas 700 mA.

Stabilizatorius užtikrina mikrovaldiklio tinkamą darbą maitindamas jį 5 V įtampa. „PWM“ išėjimai yra reikalingi komunikacijai su įvairiais jutikliais, kadangi šis mikrovaldiklis jų turi 6. Įtampos stabilizatorius buvo pasirinktas dėl plataus pritaikymo elektronikos technikoje.

Kad ši sistema suteiktų reikiamą įtampą, reikės panaudoti 2 varžas vieną R1 ir R2 (100 Ω ir 280 Ω).

2 lentelė

Drėgmės ir temperatūros jutiklio parametrai

Techninės charakteristikos	DHT22
Įtampa, V	3 - 5
Srovė, mA	1 – 1,5, lauko režime 2,5

Techninės charakteristikos	Drėgmės ir temperatūros jutiklis
Temperatūros matavimo ribos, °C	-40 iki 80, paklaida +/- 0,5
Santykinio oro drėgnumo matavimo ribos, %	0-100, paklaida ± 2
Matmenys, mm	22 x 8 x 5
Skiriamoji geba, Bitais	16 - drėgmei ir 16 - temperatūrai
Išėjimo signalo tipas	skaitmeninis

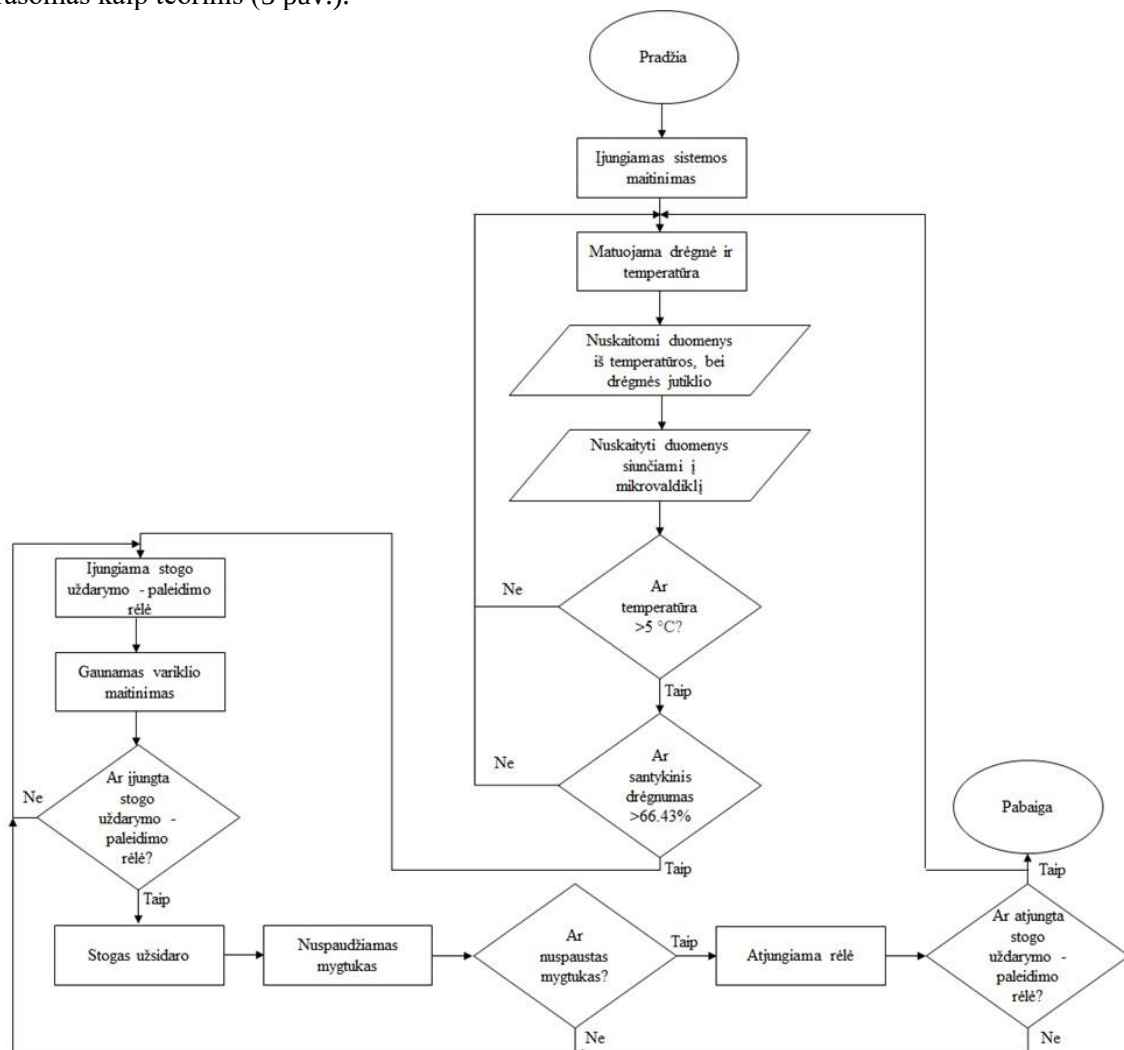
Šaltinis: sudaryta autorių pagal DHT 22 Temperature Sensors Datasheets,
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

Šis jutiklis buvo pasirinktas, dėl savo populiarumo, estetiškumo. Atsižvelgus į gamintojo pateiktas paklaidas nustatyta, kad jos yra ganėtinai mažos, o tai sukuria sistemai didesnę tikslumą ir užtikrintą sklandesnę darbą. Dėl galimų matavimo ribų jutiklis yra labai lengvai pritaikomas projektuojamoje KESV sistemoje.

Programos algoritmo sudarymas. Automatinė stogo uždarymo sistema yra aktyvuojama išjungus maitinimą, tai yra pasukus automobilio raktelį iki ištraukimo padėties.

Pati sistema savęs papildomai „netikrina“, kadangi sauso langų reikšmė jau iš anksto yra nuskaityta ir įrašyta į mikrovaldiklį kaip pastovus dydis. Pirmieji signalai yra siunčiami tarp mikrovaldiklio ir temperatūros jutiklio tam, kad šaltuoju paros metu, automobilio stogas nebūtų uždarymas ir (ar) sugadintas, suveikus sistemai klaidingai, t.y. sureagavus į ledą. Jeigu temperatūra yra + 5 °C ir daugiau, tuomet programa leidžia uždaryti stogą. Vyksta komunikacija tarp valdiklio ir jutiklio renkama informacija,

Jei langas sausas, signalo reikšmė išlieka beveik tokia pati, jei langas šlapias, įtampos šuolis priverčia sistemą sureaguoti ir uždaryti atidarytą automobilio stogą. Toks reiškinys nėra nutrūkstantis ir kartojasi tol, kol bus automobilio raktelis įkištas į spynelę ir pasuktas iki degimo padėties. Tad algoritmas neturi pabaigos ir aprašomas kaip teorinis (5 pav.).



5 pav. KASV sistemos valdymo algoritmas

Šaltinis: sudaryta autorių

Montažinės plokštės projektavimas. Sistema projektuota pasitelkus „CircuitMaker“ programinę įrangą. Pati PCB plokštė yra sudaryta pagal sistemos elektrinę – principinę schemą. Plokštė projektuota pasirinkus ir išdėsčius komponentus, kurie atitinkamai sujungti takeliais. Kadangi plokštės dydis didelės įtakos neturi, komponentai išdėlioti pagal estetinį vaizdą. DHT22 temperatūros ir drėgmės jutiklis yra suprojektuotas plokštės dešiniame šone. Takeliai suprojektuoti taip, kad tiesioginis priėjimas prie jų būtų patogiausias ir paprasčiausias, sistemos, tobulinimo ar remonto atvejais.

Tokiu atveju nereikia sudėtingos konstrukcijos korpuso. Likę komponentai išdėstyti taip, kad nesikirstų schemos takeliai.

Kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos bandymai realiomis sąlygomis. Kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos tyrimas realiomis sąlygomis buvo atliktas numatytomis iš anksto sąlygomis

- Tyrimas atliekamas „KTK BOSCH centro aikštelėje“.
 - Kalibravimas - „DHT 22“ jutiklis yra kalibruojamas, ir tai yra atliekama naudojant kitą jutiklį „ASTM“ šio jutiklio rodmenys yra žinomi ir šis jutiklis turi kur kas aukštesnę paklaidos klasę, lyginant šių dviejų jutiklių parodymus.
 - Prieš pradėdant tyrimą, patikrinama „DHT 22“ jutiklio komunikacija ir paklaida.
 - Tyrimo atlikimo metu buvo pasirinkta atvira erdvė, kad jutiklio duomenys nebūtų „suklaidinti“.
- Pašaliniais gyvūnams, ar žmonėms netrukdančioje vietovėje, jutiklis fiksavo duomenis kas 2 valandas.
- Bandymai buvo atliekami 3 dienas iš eilės. Išvedamas fiksuotų rezultatų vidurkis pagal valandas.
 - Bandymo metu, papildomai buvo naudojamas lauko termometru ir Kauno metrologinė stotelės duomenimis.

Aplinkos B_{apl} ir jutiklio $B_{jut.}$ santykinės drėgmės parodymai kintant laikui (t_{mat}) procentais pateikti 6 paveikslėlyje. Santykinis drėgnumas B_i apskaičiuojamas pagal formulę:

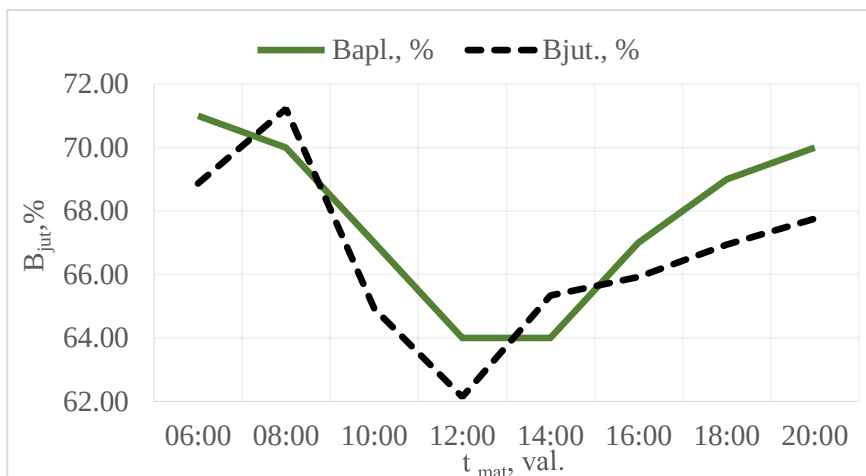
$$B_i = \frac{p(H_2O)_i}{p^*(H_2O)_i}, \quad (1)$$

čia: p_i – dalinis slėgis, kPa; p_i^* – sočiųjų garų slėgis, kPa.

Skirtumas tarp drėgnumų ($B_{apl.} - B_{jut.}$) parodymų pateiktas 1.1 lentelėje. Maksimali santykinio drėgnumo skirtumo reikšmė lygi 2,24 % šis rodmuo užfiksuotas 20:00 val, minimali -1,34 % tai užfiksuota 14:00.

Santykinis aplinkos drėgnumas $B_{apl.}$ nustatytas pagal Kauno miesto metrologinės stotelės ir lauko termometro parodymais, kurie sutapo.

Santykinis drėgnumas $B_{jut.}$ nustatytas, naudojantis kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemos integruoto jutiklio „DHT 22“ parodymais.



6 pav. Aplinkos ir KASV sistemos jutiklio santykinės drėgmės parodymų dinamika laike (t_{mat})

Šaltinis: sudaryta autorių

Drėgmė kito, bet jos svyravimai nėra labai dideli. Nedideli svyravimai pastebimi tarp 6.00 ir 8.00 val. ryto. Gali būti, kad didelė drėgmė koreliuoja su dažnesniu uždarytų stogų naudojimu siekiant apsaugoti nuo lietaus ar kitų oro sąlygų. Maža drėgmė gali turėti mažiau įtakos stogo naudojimui, nes sausi orai retai kada šiai sistemai yra nepalankūs.

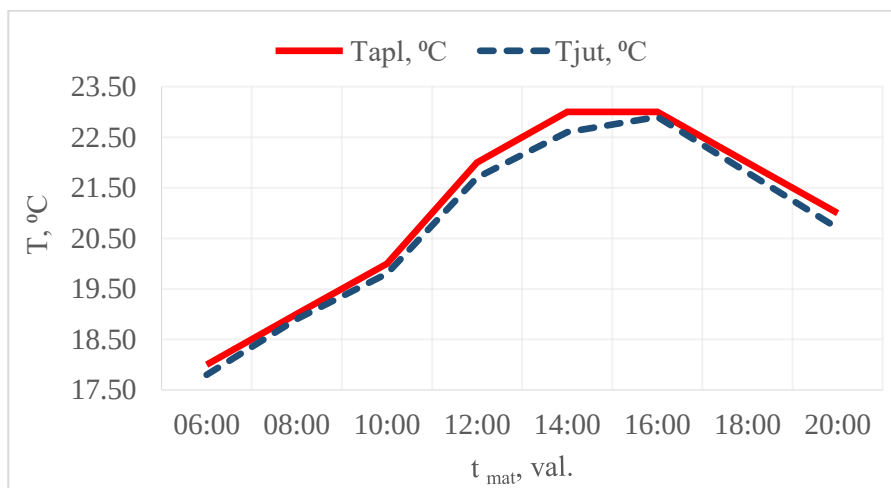
KASV sistemos jutiklio santykinės drėgmės standartinis nuokrypis yra $\sigma_{B_{jut}} \approx 1,38 \%$, o mediana – 66,43 %.

Aplinkos (T_{apl}) ir jutiklio ($T_{jut.}$) temperatūrų parodymai kintant laikui (t_{mat}) pateikti 7 paveikslėlyje.

Maksimali temperatūros skirtumo ($T_{apl.} - T_{jut.}$) reikšmė lygi $0,4^{\circ}\text{C}$, minimali $0,1^{\circ}\text{C}$.

Temperatūra ($T_{jut.}$) nustatyta, naudojantis kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemoje integruoto jutiklio „DHT 22“ parodymais. Temperatūra yra svarbus rodiklis matuojant drėgmę, kadangi automobilis yra judanti transporto priemonė, vanduo gali patekti ant jutiklio, šis perduoti duomenis mikrovaldikliui, o pastarasis duoti signalą stogą uždaryti.

Atlikus matavimus (7 pav.) nustatyta, kad aplinkos temperatūra keitėsi nuo 18°C iki 23°C . Vidutinė temperatūra siekė apie $21,75^{\circ}\text{C}$. Priklausomai nuo laiko, matavimai rodo tam tikrą temperatūros svyravimą. Temperatūrų skirtumas tarp (T_{apl}) ir ($T_{jut.}$) nėra itin didelis, išskyrus kelias valandas (apie 14:00 val.).



7 pav. Aplinkos ir jutiklio temperatūros parodymų dinamika laike (t_{mat})

Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuotas koreliacijos koeficientas tarp išorinės temperatūros (T_{apl}) ir jutiklio temperatūros (T_{jut}) yra 0,92. Kadangi rezultatas teigiamas, tam tikra sąsaja tarp šių dviejų temperatūrų matavimų, t.y., kad didėjant išorinei temperatūrai, taip pat didėja ir jutiklio temperatūra. Kadangi jutiklio temperatūros matavimai turi aukštą koreliaciją su išorine temperatūra, tai reiškia, kad jutiklis sureaguos į išorinės aplinkos temperatūros svyravimus. Sudaryta prielaida, kad jutiklis tinkamai ir jautriai reaguoja į išorės sąlygas ir tiksliai nustatys temperatūros pokyčius aplinkoje ir pagerins automatinio stogo valdymo sistemą, kurios valdymas priklauso nuo išorinės temperatūros pokyčių.

Rasos taško apskaičiuojamas pagal formulę (2):

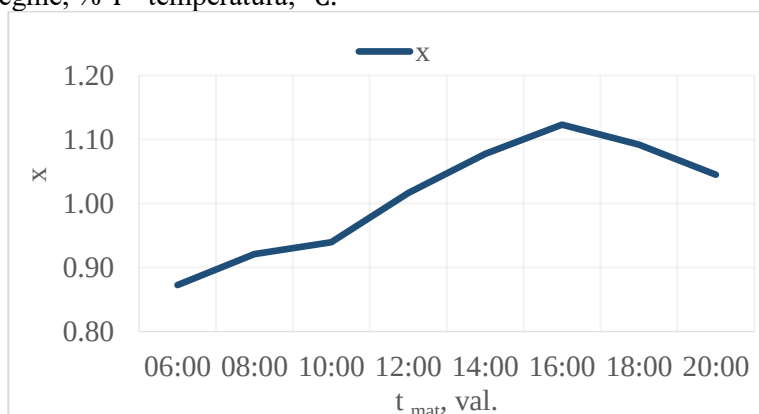
$$\text{Rasos taškas} = \frac{(243,04 \cdot x)}{(17,625 - x)}, \quad (2)$$

čia: x – koeficientas.

Koeficientas x (3 lentelė, 8 pav.) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$x = \ln \frac{B}{100} + \frac{17,625 \cdot T}{243,04 + T}, \quad (3)$$

čia: B – santykinė drėgmė, % T – temperatūra, $^{\circ}\text{C}$.



8 pav. Koeficiento x dinamika laike

Šaltinis: sudaryta autorių

Koeficientas x keičiasi kartu su Rasos tašku. Šis koeficientas susijęs fizikiniais procesais, kurie turi įtakos oro sąlygoms.

3 lentelė

Rasos taško ir koeficiento x dinamika laike (t_{mat})

t_{mat} , val.	x	Rasos taško vidutinė matavimų reikšmė, %
6:00	0,87	12,66
8:00	0,92	13,40
10:00	0,94	13,69
12:00	1,02	14,88
14:00	1,08	15,82
16:00	1,12	16,54
18:00	1,09	16,05
20:00	1,05	15,32

Šaltinis: sudaryta autorių

Koreliacija tarp koeficiento x ir Rasos taško procentinio santykio gali būti naudinga nustatant, kaip šie du kintamieji susiję. Jeigu yra ryšys tarp jų, tai gali reikšti, kad tam tikros oro sąlygos gali turėti įtakos Rasos taško pokyčiams. Rasos taškas keičiasi skirtingais laiko momentais. Tai gali suteikti informacijos apie oro drėgmės lygį tam tikru metu dienos arba kiek tas lygis svyruoja. Rasos taško nežymus didėjimas 16-18 val. (3 lentelė) parodė šiek tiek didesnį drėgmės kiekį ore.

Tyrimo rezultatų apibendrinimas ir diskusija. Šio tyrimo rezultatai nustatyti, kaip oro sąlygos gali paveikti kabrioletų tipo automobilio stogo valdymo sistemą, statistiniai skaičiavimai - kaip temperatūra ir drėgmė gali tapti svarbiais veiksniais, įtakančiais kabrioletų tipo automobilių stogo valdymo sistemą. Pateikti rezultatai gali būti naudingi: automobilių gamintojams, projektuojant kabrioletų tipo automobilių sistemas ir siekiant optimaliai derinti stogo valdymą su oro sąlygomis, vartotojams, norintiems suprasti, kaip stogo valdymas gali keistis pagal aplinkos faktorius. Pateikti duomenys bus naudojami tolesniems automatinės stogo valdymo sistemos efektyvumo gerinimo tyrimams.

Išvados

1. Nustatytos projektuojamos automobilio su elektriniu stogu valdymo sistemos maketo projektavimo charakteristikos ir funkcijos. Po jų apžvalgos galima teigti, kad sistema veikia nuo 0 °C iki 35 °C. Matuoja temperatūrą °C, bei drėgmę %. Tai leidžia apsaugoti automobilio saloną nuo netikėto lietaus, kuris, patekęs į saloną, gali sukelti pelėsį ir koroziją esančiose automobilio konstrukcijose. Ši sistema veikia nuo automobilyje esančios 12 V DC įtampos, turi mobilumo funkciją. Atlikus panašių sistemų analizę paaiškėjo, jog tokios funkcijos nenaudoja gamintojai, dėl to, ši sistema, turinti svarbi saugant automobilį, ir savininko turtą. Kabrioletų tipo automobiliui su elektrine stogo valdymo sistema buvo parinkti kelių varžų drėgmės ir temperatūros jutikliai „DHT 22“, dveji „LM317T“ įtampos keitikliai, „Atmega 328P“ mikrovaldiklis, „Aquila Omron SS-5GL2“ jungtukas, ir kiti elementai, užtikrinantys sistemos veikimą.

2. Tytimo metu temperatūra keitėsi nuo 18 °C iki 23 °C, vidutinė temperatūra siekė apie 21,75°C. Drėgmė rodė nedidelius svyravimus, tačiau koreliacija tarp išorinės temperatūros ir jutiklio temperatūros yra 0,92, rodo tam sąsają tarp abiejų temperatūrinių matavimų. Maksimali santykinio drėgnumo skirtumo reikšmė buvo 2,24 %, o minimali -1,34 %. Automatinio stogo valdymo sistema reagavo į išorinės temperatūros pokyčius, kadangi koreliacija su jutiklio matavimais yra aukšta. Koeficiento x dinamika, demonstravo oro sąlygų įtaką drėgmės lygiui. Pastebėta, kad didelė drėgmė gali koreliuoti su dažnesniu stogo naudojimu, siekiant apsaugoti nuo kritulių ar kitų oro sąlygų.

Literatūra

1. Atmel Corporation. Arduino UNO R3. Datasheet. 2015. Žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: [ATmega328P_Datasheet.pdf](#).
2. BMW E90 E91 E92 E93 Windshield Rain sensor.[žiūrėta 2023 11 30]. Prieiga per internetą: <https://www.rain-sensor/>
3. Bosch. Rain sensor [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: <https://www.farnell.com/datasheets/21731.pdf>.
4. Car roof design [žiūrėta 2023 11 21]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/354633213_Car_Roof_Design_for_Mini_Cooper.
5. Circuitspedia.com. Electronic tutorials, Circuit diagram, MCQ, Projects etc. LM317 IC voltage regulator Calculator. sensor [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: <https://circuitspedia.com/lm317-ic-voltage-regulator-calculator/>.

6. Convertibles versus coupes [žiūrėta 2023 11 30]. Prieiga per internetą: https://www.iihs.org/media/5c8ec650-fecd-479b-8191-788fcb30642b/qIk1Wg/HLDI%20Research/Bulletins/hldi_bulletin_37-04.pdf.
7. David Watson. Introduction to DHT22. [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: <https://www.theengineeringprojects.com>.
8. DHT 22 Temperature Sensors Datasheets. [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
9. Knight J., Lucey A., Shaw C., Aerodynamics loading and deformation of convertible roofs. [žiūrėta 2023-11-22] Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/>.
10. Lawrence A. Wood. The use of Dew-point in humidity calculations [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/74c/jresv74cn3-4p117_a1b.pdf.
11. Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals [žiūrėta 2023 11 21]. Prieiga per internetą: <http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Automotive%20Engineering%20books/Motor%20Vehicle%20Structures.pdf>.
12. Otte E A., Qaiser A., Sandhu I., Tazabekov A., Kang D D., Capacitive Rain Sensor for Automatic Wiper Control. Final Report ECE 480: Design Team 6. Hyundai Kia Motors [žiūrėta 2023 11 23]. Prieiga per internetą: https://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/spring10/group06/documents/ECE480_Design_Team6_Final_Report.pdf.
13. Panašios sistemos matavimai [žiūrėta 2023 11 25]. Prieiga per internetą: <https://www.denso-ten.com/business/technicaljournal/pdf/2-7E.pdf>.
14. Research on Factors Leading to Variant Aerodynamic Drag Coefficient of Different Cabriolets [žiūrėta 2023 11 18]. Prieiga per internetą: www.ResearchonFactorsLeadingtoVariant/Aerodynamic/pdf.
15. SmarTop systems. Mods4cars [žiūrėta 2023 11 18]. Prieiga per internetą: <https://www.mods4cars.com/>.
16. TEILE.COM. Rain sensor with wiring harness, coupé. Porsche 911 Cabrio 2017 m. [žiūrėta 2023 11 18]. Prieiga per internetą: <https://teile.com/en/porsche-parts-shop/model-911-997>.
17. Temperature variations in a parked vehicle [žiūrėta 2023 11 30]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/47742128_Temperature_variations_in_a_parked_vehicle.
18. Why are convertible bond announcements associated with increasingly negative issuer stock returns? [žiūrėta 2023 11 18]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426612000817>.

INVESTIGATING THE EFFECT OF HUMIDITY AND TEMPERATURE ON THE CONVERTIBLE ROOF CONTROL SYSTEM

Summary

In the last decade automotive industry testified a change towards smart technologies installation, which makes better not only the users experience, makes the driving more comfortable. It also protects users and car from many external and internal danger and irritants. One of the noticed problems is car's with cabriolet type construction. These cars construction is 10 % safer than coupe type construction cars. In the nature there exists 3 main measures for humidity, absolute, relative, and specific. Absolute humidity describes the quantity of water in the air, often measured in grams in cubic meter. As mentioned before, car engineers try everything they can to integrate themselves with newest technologies, however at this time there is still no system, that would give a possibility to avoid the consequences from the environment.

Key words: Electric roof, managing mechanism, temperature sensor, humidity, metrology station.

AUTOMOBILIO ŽIBINTŲ VALDYMO SISTEMOS, ESANČIOS SKIRTINGAIS KET REKOMENDUOJAMAI ATSTUMAI NUO ŠVIESOS ŠALTINIO, TYRIMAS

Lukas Būtė, Rasa Žygienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šio straipsnio tikslas yra sukurti automatinės automobilio žibintų valdymo (AŽV) sistemą su šviesos srauto jutikliu ir atlikti varžos ir apšviestumo koreliaciją. Tyrimo metu buvo atlikti apšviestumo matavimai skirtingais atstumais nuo šaltinio pagal rekomenduojamus KET atstumus. Projektuota sistema buvo siekiama padidinti automobilio saugumą ir komfortą, automatiškai perjungiant ilgas šviesas. Darbas apima panašių sistemų apžvalgą, AŽV sistemos projektavimą, inžinerinį modeliavimą ir eksperimentinius bandymus. AŽV sistemos nauda - didesnis saugumas ir komfortas, sistemą galima pritaikyti įvairiems transporto priemonių tipams, neturintiems šios sistemos. Tyrimo rezultatai atskleidė stiprų neigiamą statistinį ryšį tarp fotorezistoriaus varžos ir apšviestumo, leidžiantį sukurti efektyvią AŽV sistemą.

Reikšminiai žodžiai: KET, šviesos srautas, žibintai, šviesos šaltinis, valdiklis, atstumas.

Įvadas

Nepriklausomai nuo paros laiko automobilių žibintai su įjungtomis ilgosiomis šviesomis akina priešais važiuojančių automobilių vairuotojus. Tačiau vairavimas tamsoje labai skiriasi nuo vairavimo šviesiu paros metu. Žmogaus akies regėjimo laukas be natūralios šviesos yra daug mažesnis. Buvo atlikti įvairūs dinaminių priekinių žibintų tyrimai (Hacibekir et al, 2006: 4-6; Hrairi and Abu Bakar, 2010: 11-13; Perhad, 2014) teigiama, kad papildomas kampų apšvietimas padidina 58 % vairuotojo gebėjimą atpažinti kliūtį. Adaptuota šviesų sistema pagerina vairuotojo matomumą važiuojant naktį, automatiškai pasukant priekinį žibintą važiavimo kryptimi pagal vingiuotą kelią (Perhad, 2014). Naudodami tinkamai suprojektuotus priekinius žibintus, vairuotojai gali tiksliai įvertinti kelio sąlygas (Van Derlofske et al, 2002). Pasiūlyta keletas būdų kaip padėti vairuotojui: optinių priekinių žibintų dizainas (Chen et al, 2018), automatinio valdymo lempos, mažinančios nepastebimą pavojų vairuotojo regėjimo lauke (Zhang et al, 2016), iki aklosios zonos aptikimo ir perspėjimo sistemos (Liu et al, 2017). Projektuojant automobilių žibintus, reikia atsižvelgti į daugelį sąlygų, nes padidinta priekinių žibintų skleidžiama šviesa gali padidinti riziką, susijusią su priešpriešinio eismo akinimu. Atlikti tyrimai (Kotob D., 2020), parodė, kad apie 50 % eismo įvykių su žūčių pasekmėmis, įvyksta nakties metu, kai yra prastas kelio apšvietimas arba vairuotojas yra apakinamas kito automobilio šviesos. Apakinti priešpriešais važiuojančio automobilio vairuotojai jaučia diskomfortą akims net šviesiuoju paros metu. Tamsiuoju paros metu - sukeliamos avaringos situacijos, o nelaimingo įvykio metu gali nukentėti eismo dalyviai. Neperjungus tolimųjų žibintų, šviesa apakina kitus vairuotojus, tuomet porai sekundžių pilnai prarandamas orientavimasis aplinkoje. Remiantis KET 95.2 p. (LRV, 2002) tolimosios automobilio šviesos likus iki priešpriešais artėjančios transporto priemonės privalo perjungti į artimąsias šviesas likus ne mažiau kaip 150 m. Šie atstumai įvairiose šalyse skirtingi, tačiau siekia ne daugiau 200 m. Nesilaikant šios taisyklės LR numatoma nuo 30 iki 90 eurų bauda. Ši KET taisyklė buvo priimta nutarime „Dėl kelių eismo taisyklių patvirtinimo“. Straipsnyje (Shadi Alboon et al, 2013) teigiama, kad automatinė ilgųjų žibintų perjungimo sistema automobilio vairuotojui suteikia ne tik komfortą, bet ir saugumą kelionės metu ir neblaško vairuotojo dėmesio nuo vairavimo. Automatinė ilgųjų šviesų perjungimo sistema buvo diegiama į BMW E6X nuo 2003 m. ir šiandienai ši sistema daugelyje automobilių diegiama kaip standartinė įranga.

Darbo problema: kokie metodai ar inžineriniai sprendimai sudarytų prielaidas automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos projektavimui, kuri skirtingais KET rekomenduojamais atstumais nuo šviesos šaltinio leistų tirti šviesos srauto jutiklio varžos ir apšviestumo koreliaciją?

Darbo tikslas: sukūrus AŽV sistemą ištirti šviesos srauto jutiklio varžos ir apšviestumo koreliaciją, atsižvelgiant į KET rekomenduojamus atstumus nuo šviesos šaltinio.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti panašių AŽV sistemų apžvalgą ir realizavimo būdų analizę bei sukurti AŽV sistemą, kuri automatiškai perjungtų ilgąsias automobilio šviesas.
2. Atlikti naudojant AŽV sistemoje integruotą šviesos srauto nustatymo jutiklį varžos ir apšviestumo bei jų tarpusavio koreliacijos tyrimus, atsižvelgiant į KET reikalavimus.

Šį straipsnį sudaro trys dalys. Pirmoje dalyje atliekama panašių automatinė AŽV sistemų apžvalga, tam kad nustatyti rinkoje naudojamų analoginių įrenginių funkcijas ir savybes, antroje dalyje - projektuojama AŽV sistema. AŽV sistemai kurti naudojami inžineriniai projektavimo metodai, bei įvairios programos. CircuitMaker, programa naudojama elektrinei principinei schemai ir jos algoritmo kūrimui, sistemos elementų modeliavimas montažinėje plokštėje. Programa „Keil uVision5“ - C programavimo kalbos

naudojimui ir algoritmų rašymui. Matavimams atlikti naudojamas multimetras. Trečioje - atliekami bandymai naudojant fizikinius atstumo matavimo įrankius, elektrinių šviesos srauto charakteristikų matavimus, rezultatų analizę naudojantis statistiniais metodais.

Praktinė nauda ir pritaikymo galimybės. Suprojektuota AŽV sistema, padidintų eksploatuojamo automobilio saugumą ir komfortą. Automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos komponentai yra lengvai pritaikomi tuose automobiliuose, kurie neturi šios funkcijos. Už automatinį automobilio žibintų valdymo sistemos veikimą yra atsakingas atskiras valdiklis, šviesos jutiklis, o tai suteikia galimybę prisijungti prie automobilio nekeičiant jo jau esamų mazgų. AŽV sistemą galima naudoti automobiliuose, neturinčiuose šios sistemos, žemės ūkio technikoje, autobusuose ar sunkvežimiuose, kurie šios sistemos neturi, o projektą pritaikyti kaip mokymo priemonę mokantis apie automobilių saugos ir komforto sistemas bei apie mikroprocesorius ir įterptines sistemas bei jų programavimą.

Panašių automatinės automobilio žibintų valdymo sistemų apžvalga

Projektuojamos AŽV sistemos techninė charakteristika ir funkcijos. Atlikus panašių sistemų apžvalgą nustatytos automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos:

- Vaizdo indikacija prietaisų skydelyje;
- 12 V maitinimas;
- Atskiras mygtukas sistemos įjungimui;
- Mechaninė sistemos įjungimo/išjungimo funkcija;
- Mobilumo funkcija;
- Sistemos įsijungimo priklausomybė nuo automobilio greičio, (km/h).

Automatinė automobilio žibintų perjungimo sistema BMW 5 E60 2007. BMW automatinė automobilio žibintų valdymo sistema įjungiama ir išjungiama perjungiant šviesų jungiklį į automatinį režimą ir pastumiant į priekį ilgųjų šviesų rankenėlę. Tuomet prietaisų skydelyje užsidega automatinė šviesų indikacija. Sistema tamsioju paros metu aptinka šviesos šaltinį, kuris sklinda į prie veidrodėlio įtaisytą šviesos jutiklį (1 pav.), tuomet automatiškai perjungiamos ilgosios šviesos į trumpąsias. Šią funkciją vairuotojas gali pilnai atjungti iDrive sistemoje. Tolimosios šviesos automatiškai įsijungia pasiekus 50 km/h greitį, o išsijungia prie 38 km/h.



1 pav. BMW 5 E60 2007 automatinės AŽV sistemos šviesos jutiklio įrengimo vieta (parodyta rodykle)

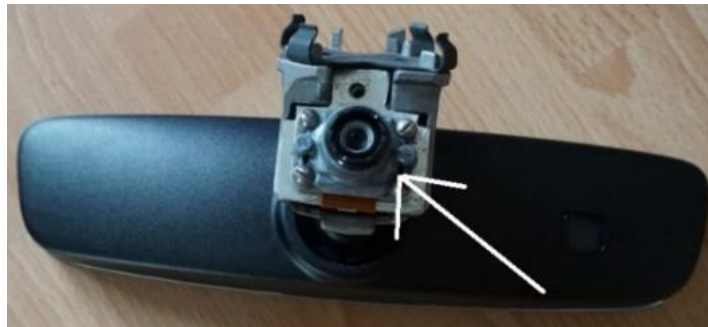
Šaltinis: Tutorial - Retrofitting Lane Assist | Sign Assist | Light Assist, 2018, www.5series.net

Automobilio BMW 5 E60 2007 techninės charakteristikos: 12 V maitinimo šaltinis, išjungimas/įjungimas (įjungiama perjungiant šviesas į automatinį režimą ir pastumiant tolimųjų šviesų rankenėlę į priekį. Išjungiama pasirenkant kitą režimą žibintų jungiklyje arba atjungiant šią funkciją iDrive automobilio sistemoje), šviesos jutiklis - sumontuotas prie automobilio galinio vaizdo veidrodėlio, salone, ilgųjų šviesų įsijungimas/išsijungimas važiuojant - įsijungia prie 50 km/h, išsijungia 38 km/h, indikacija - atvaizduojama prietaisų skydelyje.

Automatinė automobilio žibintų valdymo sistema VOLKSWAGEN GOLF MK7 2019. Automobilio VW GOLF MK7 2019 metų automatinė žibintų valdymo sistema veikia kaip ir BMW 5 2007 metų automobilio, tik ši pradeda veikti tuomet, kai automobilis įsibėgėja iki 60 km/h, o išsijungia nuo 30 km/h.

Automobilio VW GOLF 2019 techninės charakteristikos: 12 V maitinimo šaltinis, išjungimas/įjungimas (įjungiama perjungiant šviesas į automatinį režimą ir pastumiant ilgųjų šviesų

rankenėlę į priekį. Išjunginama pasirenkant kitą režimą šviesų įjungimo jungiklyje), šviesos jutiklis - sumontuotas prie automobilio galinio vaizdo veidrodėlio, salone (2 pav.), ilgųjų šviesų įsijungimas/išsijungimas važiuojat - įsijungia prie 60 km/h, išsijungia 30 km/h, indikacija - atvaizduojama prietaisų skydelyje.



2 pav. VW GOLF MK7 2019 automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos šviesos jutiklis(kamera)

Šaltinis: Tutorial - Retrofitting Lane Assist, 2018, www.mqb.pl

Automatinė automobilio žibintų valdymo sistema LEXUS RX 2020. LEXUS RX 2020 metų automatinė automobilio žibintų valdymo sistema veikia kaip VW GOLF MK7, tik ši pradeda veikti tuomet, kai automobilis įsibėgėja iki 34 km/h, o išsijungia nuo 30 km/h. Tačiau, ši sistema turi atskirą mygtuką(3 pav.), kad galėtų būti įjungta. Taip pat indikacija užsidega prietaisų skydelyje.



3 pav. Lexus RX 2020 automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos šviesos atskiras jungiklis ir būsenos indikacija

Šaltinis: Lexus RX, 2023, www.lexusrx.net

Automobilio Lexus RX techninės charakteristikos: 12 V maitinimo šaltinis, išjungimas/išjungimas (įjungiama perjungiant šviesas į automatinį režimą, pastumiant ilgųjų šviesų rankenėlę į priekį ir paspaudžiant mygtuką auto, kad įsijungtų sistema), sistema išjungiama paspaudus mygtuką auto, šviesos jutiklis - sumontuotas prie automobilio galinio vaizdo veidrodėlio, salone, ilgųjų šviesų įsijungimas/išsijungimas važiuojat - įsijungia prie 34 km/h, išsijungia 30 km/h, indikacija - atvaizduojama prietaisų skydelyje.

1 lentelė

Panašių AŽV sistemų techninių charakteristikų palyginimas

Techninės charakteristikos ir funkcijos	BMW 5 E60 2007 m. automatinė automobilio žibintų valdymo sistema	VW GOLF MK7 2019 m. automatinė automobilio žibintų valdymo sistema	LEXUS RX 2020 m. automatinė automobilio žibintų valdymo sistema
Vaizdo indikacija prietaisų skydelyje	+	+	+
12 V maitinimas	+	+	+
Atskiras mygtukas sistemos įjungimui	-	-	+
Mechaninė sistemos įjungimo/išjungimo funkcija	+	+	+
Mobilumo funkcija	-	-	-
Sistemos įsijungimo priklausomybė nuo automobilio greičio, km/h	50	60	34

Šaltinis: Sudaryta autorių

Atskiras mygtukas sistemos įjungimui nuo mechaninės sistemos įjungimo/išjungimo skiriasi tuo, kad bus apsisaugojama nuo netyčinio sistemos įjungimo, todėl, kad būtų galima aktyvuoti automatinį žibintų valdymą, LEXUS automobilių gamintojas, numatė papildomą mygtuką ir sistemos įjungimas susidės iš trijų etapų, kai tuo tarpu BMW E60 2007 m. ir VW GOLF MK7 2019 m. susideda tik iš dviejų, žibintų nustatymo į „AUTO“ ir ilgųjų šviesų svirties nuspaudimo į priekį.

Atlikus panašių sistemų apžvalgą nustatyta, kad visos automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos nėra mobilios. Visų 1 lentelėje apžvelgtų automobilių sistemos įsijungia perjungus šviesų režimą į automatinį, tačiau LEXUS RX 2020 automobiliai turi atskirą mygtuką sistemai, kad ši galėtų būti įjungta ir išjungta. Toks veikimas yra paprastesnis ir patogesnis. Taip pat, visuose apžvelgtuose AŽV sistemose užsidega indikacija prietaisų skydeliuose, kas praneša vairuotojui, jog sistema įjungta. Skiriasi informacijos apdorojimo ir pateikimo greičiai kada sistema įsijungs ar išsijungs.

Šviesos jutiklio parinkimas projektuojamai AŽV sistemai:

Fotorezistoriai. Fotorezistoriai (LDR) gali būti naudojami kartu su šviesos diodais arba lazeriu, siekiant matuoti apšviestumą.

Fotodiodai. Fotodiodai verčia šviesos srautą į elektros srovę. Jie jautrūs skirtingiems šviesos bangos ilgiams.

Fototranzistoriai. Tai patobulintas fotodiodas, turintis stiprintuvą tranzistoriuje. Jie jautresni ir dažnai naudojami grįžtamajai ryšio sistemai, tiksliau valdančiai apšviestumą.

Fotojutiklis: Be paprastų fotorezistorių, naudojami ir sudėtingesni foto įrenginiai, kurie gali analizuoti apšviestumą ir realiu laiku sureguliuoti žibintų parametrus.

Konkretaus tipo fotorezistoriaus pasirinkimas priklauso nuo automobilio šviesos valdymo sistemos reikalavimų ir naudojamų technologijų.

2 lentelė

Šviesos srauto jutiklių techninės charakteristikos

Techninės charakteristikos \ Šviesos srauto jutiklio pavadinimas	Fotorezistorius	Fotodiodas
Maitinimo įtampa, V	Neapibrėžta	3-5
Jutiklio įėjimų (išvadai) skaičius	2	2
Diametras, mm	~5	~3

Šaltinis: Sudaryta autorių

Pasirinkus du šviesos srauto aptikimo jutiklius ir atlikus apžvalgą nustatyta, kad fotorezistoriaus maitinimo įtampa neapibrėžta, o fotodiodo yra 3-5 V. Taip pat, fotorezistoriaus diametras sudaro +/- 5 mm, o fotodiodo apie 3 mm. Jutiklio įėjimų skaičius pas abu jutiklius vienodas.

Sistemoje integruoto fotorezistoriaus darbą ar matavimus su juo, gali įtakoti sekantys veiksniai (4 pav.):

Aplinkos triukšmai. Iš kitų šaltinių sklindanti šviesa, elektromagnetiniai trikdžiai, elektros energijos svyravimai. Magnetinis laukas, elektrinis laukas.

Temperatūros pokyčiai. Fotorezistoriai reaguoja į temperatūros pokyčius.

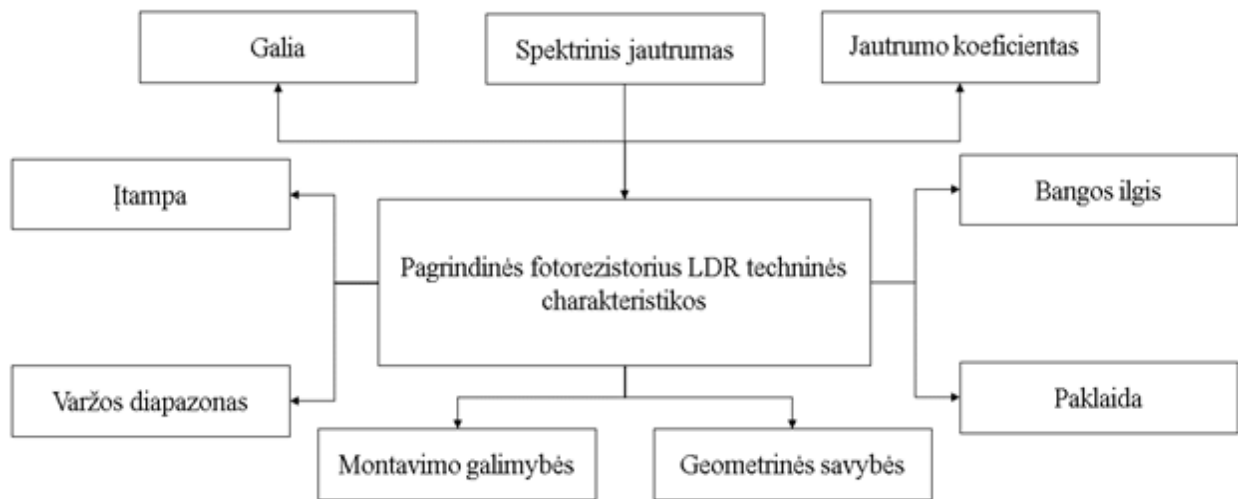
Maitinimo įtampa. Įtampos pokyčiai gali paveikti rezultatus, gautus matavimo metu.

Spektro jautrumas. Automobilių žibintai dažniausiai naudoja regimąją šviesą. Žmonių regimasis spektras yra apie 380-750 nm diapazone. Automobilių žibintai yra dažniausiai pagaminti naudojant kaitrines lemputes arba LED (šviesos diodų) technologiją, kurios gali generuoti šviesą šiame regimajame diapazone. HID (xenon) ir LED priekiniai žibintai dažnai būna nuo 5000 K iki 6500 K. Tai reiškia, kad LED ir HID priekiniai žibintai skleidžia stiprią mėlynosios bangos ilgio šviesą, kuri gali blaškyti dėmesį, sukelti emocinį nerimą ir pažeisti akis. Mėlynos bangos ilgis yra nuo 380 nm iki 500 nm.

Geometriniai aspektai. Netinkama padėtis šviesos šaltinio atžvilgiu arba paviršių atspindžiai (esant šlapiam kelio dangai) gali iškreipti matavimus.

Montavimo galimybės: Fotorezistoriai gali būti tiekiami įvairių formų ir parametrų, kad tiktų konkrečioms reikmėms.

Montavimo galimybės: Fotorezistoriai gali būti tiekiami įvairių formų ir parametrų, kad tiktų konkrečioms reikmėms.



4 pav. Pagrindinės fotorezistorius LDR techninės charakteristikos
Šaltinis: sudaryta autorių

Fotorezistoriaus varža esant tamsai. Fotorezistoriaus varža be šviesos arba esant minimaliam apšviestumui matematiškai išreiškiama, kaip pastovus dydis, artėjantis į eksponentinį varžos pokytį:

$$R = R_0 \cdot e^{-k \cdot I}, \quad (1)$$

čia: R - esamoji varža, R_0 - varža tamsoje, k - fotojautrinio rezistoriaus jautrumo koeficientas apšviestumo pokyčiams, I - apšviestumas, kuriam yra paveiktas fotojautrinis rezistorius.

Jautrumo koeficientas (k) parodo fotorezistorius reakciją į apšviestumo pokyčius. Kuo didesnė k reikšmė, tuo jis jautresnis šviesai. Taigi, k yra parametras, kuris charakterizuoja fotorezistorių ir jo elgesį skirtingomis apšvietos sąlygomis.

Apšviestumas. Tai fizikinis dydis, priklausantis nuo šviesos kiekio, tenkančio fotorezistoriui ir išreiškiamas kaip šviesos srauto tankis, t. y. šviesos srautas Φ , kertantis šviesos sklaidimo kryptimi statmeno ploto S vienetą:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (2)$$

Apšviestumas gali būti išreiškiamas kaip laiko funkcija ($E(t)$):

$$E(t) = E_0 \cdot e^{-at}, \quad (3)$$

čia: I_0 - pradinis apšviestumo lygis, a - koeficientas, kintantis laike, t - laikas. Jeigu apšviestumo pastovus, tai $I(t) = \text{const}$.

Formulė (3) aprašo eksponentinį srovės kitimą laike (t), bet neįvertina aplinkos veiksnių įtaką.

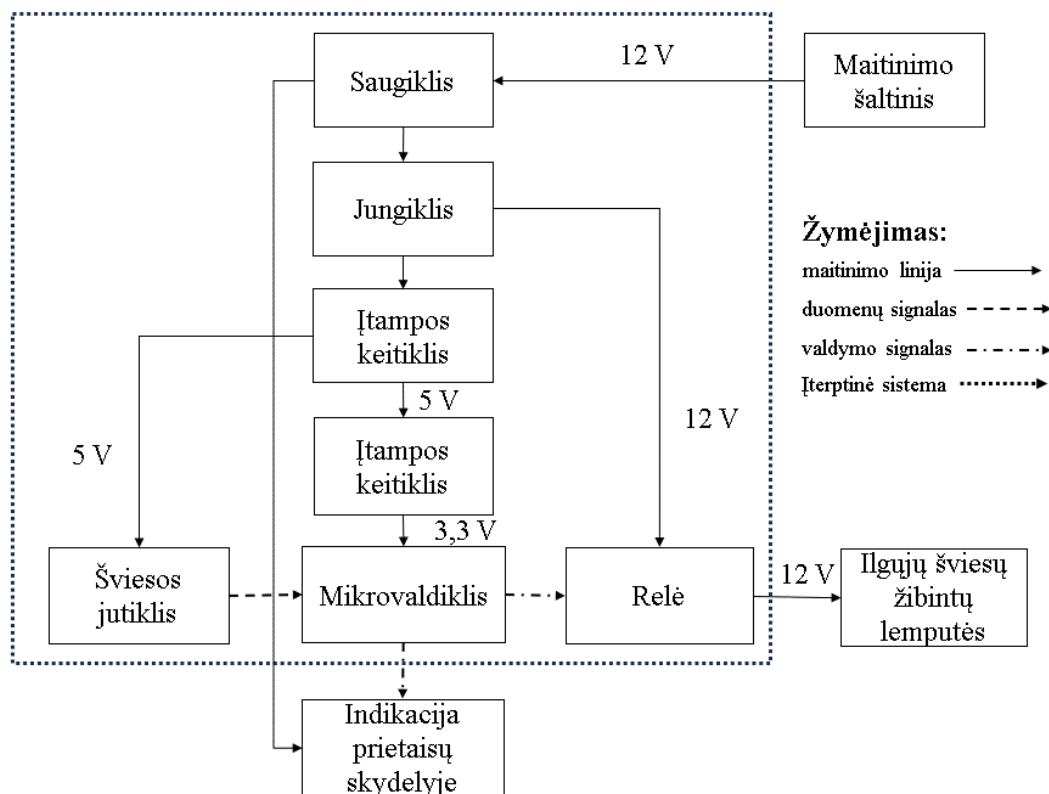
Automatinės AŽV sistemos projektavimas ir tyrimas realiomis sąlygomis

Nustačius automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos technines charakteristikas ir funkcijas sudaryta struktūrinė schema (5 pav.).

AŽV sistemą sudaro žemiau pateikti komponentai.

Maitinimo šaltinis. Sistema naudos 12 V maitinimo įtampą, kurią gali tiekti automobilio akumuliatorius arba galima prisijungti prie automobilio saugiklių bloko, kur yra paliktos tuščios, be saugiklių vietos kitoms automobilyje neįdiegtoms sistemoms.

Sistemos įjungimas/išjungimas. Sistemos valdymo funkcija, skirta mygtuko paspaudimu įjungti arba išjungti šviesų valdymo sistemą, paliekant galimybę vairuotojui apsispręsti ar perjunginėti ilgąsias šviesas automatiškai ar mechaniškai. Taip pat, Pagal Jungtinių Tautų Europos ekonominės komisijos taisykles (Jungtinių Tautų Europos ekonominės komisijos (JT EEK) taisyklė Nr. 48, 2018), ĮJUNGTI ir IŠJUNGTI tolimosios šviesos žibintus ir rankiniu būdu IŠJUNGTI tolimosios šviesos žibintų automatinį valdymą visada turi būti įmanoma rankiniu būdu. Mygtukas bus įmontuotas lengvai pastebimoje ir pasiekiamoje vietoje.



5 pav. Automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos sudaryta struktūrinė schema
Šaltinis: Sudaryta autorių

Mobilumo funkcija. Sukurta sistema bus mobili, todėl bus galima pritaikyti automobiliams, kurie tokios neturi.

Šviesos srauto nustatymo funkcija. Šviesos srautą nustatys jutiklis, kuris bus pritaisytas už galinio vaizdo veidrodėlio, šiai funkcijai įgyvendinti naudojamas fotorezistorius.

Automatinių ilgųjų šviesų įsijungimo/išsijungimo važiuojat funkcija. Skirtinguose automobilių modeliuose gamintojai sistemos įsijungimo priklausomybę nuo pasiekto greičio programuoja skirtingai, bet toks sistemos veikimas nėra labai efektyvus važinėjant mieste, todėl projektuojamos sistemos veikimas nepriklausys nuo transporto priemonės išvystyto greičio.

Indikavimo funkcija. Apie sistemos veikimą indikuos šviesos lemputė prietaisų skydelyje.

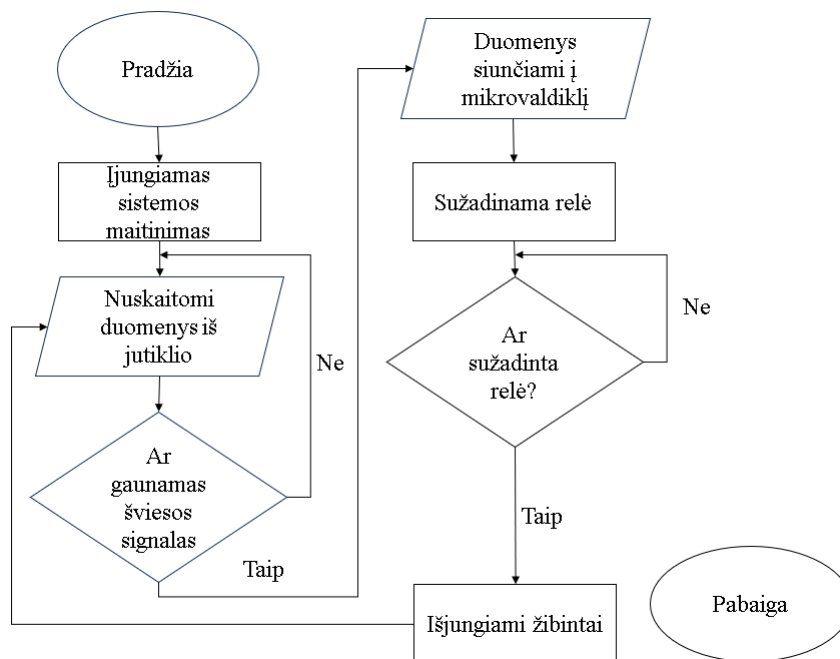
Automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos sudarytas veikimo algoritmas Pagal sistemos veikimo algoritmą (6 pav.) automatinė automobilio žibintų valdymo sistema yra aktyvuojama įjungus maitinimą (nuspaudus automatinių ilgųjų žibintų valdymo mygtuką). Tuomet, mikrovaldiklis atlieka duomenų nuskaitymą iš jutiklio, jeigu nėra gaunamas šviesos signalas, tuomet šis veiksmas pasikartoja. Kai yra gaunamas šviesos signalas, duomenys siunčiami į mikrovaldiklį, mikrovaldiklis sužadina relę, jos kontaktai atsijungia ir tuomet automatiškai išsijungia ilgosios šviesos, jeigu šviesos signalas nebegaunamas, tuomet relės kontaktai vėl susijungia ir dega ilgosios automobilio šviesos.

Pagamintas šviesos srauto jutiklis, kurio veikimo principas yra kaip įtampos daliklio (7 pav.), tik vietoj antro rezistoriaus yra naudojamas fotorezistorius.

Šis šviesos srauto nustatymo jutiklis veikia pagal šią matematinę išraišką (Haraoubia B. 2018):

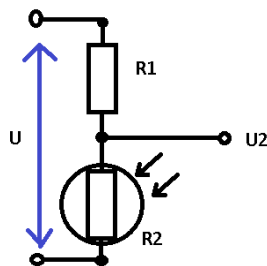
$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U, \quad (4)$$

čia: U - šviesos srauto jutiklio maitinimas, R_1 - rezistorius, R_2 - fotorezistorius, U_2 - išėjimo įtampa, signalas.



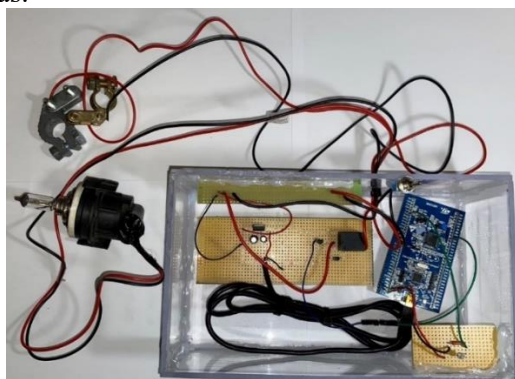
6 pav. Automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos veikimo algoritmas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Suprogramuotas valdiklis gauna elektrinį signalą iš šviesos srauto jutiklio per U2 išėjimą, signalą apdoroja ir tuomet valdiklis vykdo užduotį.



7 pav. Šviesos srauto jutiklio elektrinė principinė schema
Šaltinis: Sudaryta autorių

Sistemos veikimas. Automatinė automobilio žibintų valdymo sistema (8 pav.) aktyvuojama įjungus maitinimą, tai yra nuspaudus automatinį žibintų mygtuką. Sistema nustoja veikti (žr. 6 pav. Pabaiga), kai išjungiamas automobilio maitinimas.



8 pav. Surinktas automatinės AŽV sistemos maketas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Tuomet, mikrovaldiklis iš jutiklio nuskaityto duomenis, jeigu jutiklis nėra apšviestas, tuomet šis veiksmas pasikartoja.

Kai jutiklis yra apšviestas, mikrovaldiklis, iš jutiklio gauna signalą ir sužadina relę, jos kontaktai atsijungia ir tuomet išsijungia ilgosios šviesos. Surinktas automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos maketas pateiktas 8 paveikslėlyje.

Pradiniai tyrimo duomenys. Bandymas buvo atliekamas neapšviestoje automobilių aikštelėje, esant 3 laipsnių šalčio lauko temperatūrai. Atstumas iki šviesos šaltinio buvo sugraduoti kas 10 metrų, minimalus atstumas 100 metrų, o maksimalus 200 metrų nuo šviesos šaltinio, tai parodyta 9 paveikslėlyje.



9 pav. Atstumas iki šviesos šaltinio

Šaltinis: Sudaryta autorių

Tyrime naudotos šviesos srauto - lempų D2S 5000 K techninės charakteristikos, apibrėžiančios lempų veikimo savybes ir tinkamumą tyrimui:

- Nominali galia: 35 W - tai galia, kurią lemputė naudoja normaliomis sąlygomis.
- Srovė (eksploatacijos metu): 3,2 A - tai srovė, kuri teka lemputėje veikiant normaliomis sąlygomis.
- Maksimali srovė paleidimo metu: 10 A - tai aukščiausia lempučių užžiebimo metu tekančio elektros srovės vertė.
- Nominali įtampa: 85 V - tai įtampa, kurią lemputė naudoja normaliomis sąlygomis.
- Šviesos srautas: maks. 3200 Lm - tai aukščiausias šviesos srauto kiekis, kurį lemputė gali suteikti.
- Spalvinė temperatūra: maks. 5000 K - tai temperatūra, kurią lemputė spinduliuoja.

Iš gamintojo pateiktų fotorezistoriaus LDR04 techninių specifikacijų nustatytos pradinės charakteristikos:

- Galia (P): Tai didžiausia galia, kurią fotorezistorius gali išlaikyti be žalos.
- Varža (R): 8÷20 kΩ - nurodo fotorezistoriaus varžos diapazoną esant skirtingiems apšvietimo lygiams.
- Bangos ilgis (λ): 540 nm - nurodo šviesos bangos ilgį, kuriam fotorezistorius yra jautriausias.
- Fotorezistorius skirtas montuoti per skylę ant spausdintinių plokščių (PCB). Naudojama montavimo per skylę technologija THT (Through Hole Technology).
- Įtampa (U): 150 V DC - didžiausia leistina įtampa, kurią gali atlaikyti fotorezistorius.
- Šviesos diodo skersmuo ($\varnothing$ LED): 5 mm - tai šviesos diodo skersmuo.

Pažymėtina, kad LDR fotorezistorius reaguoja į apšvietimo pokyčius, įskaitant šviesą, sklindančią iš D2S 5000 K lempučių. Jis keičia savo varžą priklausomai nuo apšvietimo lygio.

Pasirinkus du šviesos srauto aptikimo jutiklius ir atlikus apžvalgą nustatyta, kad fotorezistoriaus maitinimo įtampa neapibrėžta, o fotodiodo yra 3-5 V. Taip pat, fotorezistoriaus diametras sudaro ± 5 mm, o fotodiodo apie 3 mm. Jutiklio jėgimų skaičius pas abu jutiklius vienodas.

Įvertinti sistemoje integruoto fotorezistoriaus darbą ar matavimus su juo įtakojantys veiksniai:

Aplinkos triukšmai. Išmatuotas magnetinis laukas 0,01 μ T, elektrinis laukas - 38 V/m.

Temperatūros pokyčiai. Lauko temperatūra testavimo metu -3°C. Darbinė fotorezistoriaus temperatūra -35°C...+70°C.

Maitinimo įtampa. Sistemai tiekama stabili 12 V maitinimo įtampa. Testavimo metu naudojamas papildomas maitinimo šaltinis OSRAM 908 12 V/24 V 8 A akumuliatorių įkroviklis, pakrovėjo parametrai: maksimalus akumuliatoriaus dydis kraunant 24 V, 70 Ah, įkrovimo norma (iki) 8,0 A, maksimalus akumuliatoriaus dydis įkraunant 12 V, 150 Ah, maitinimo kabelio ilgis 1,5 m, gnybtų kabelio ilgis 1,5 m.

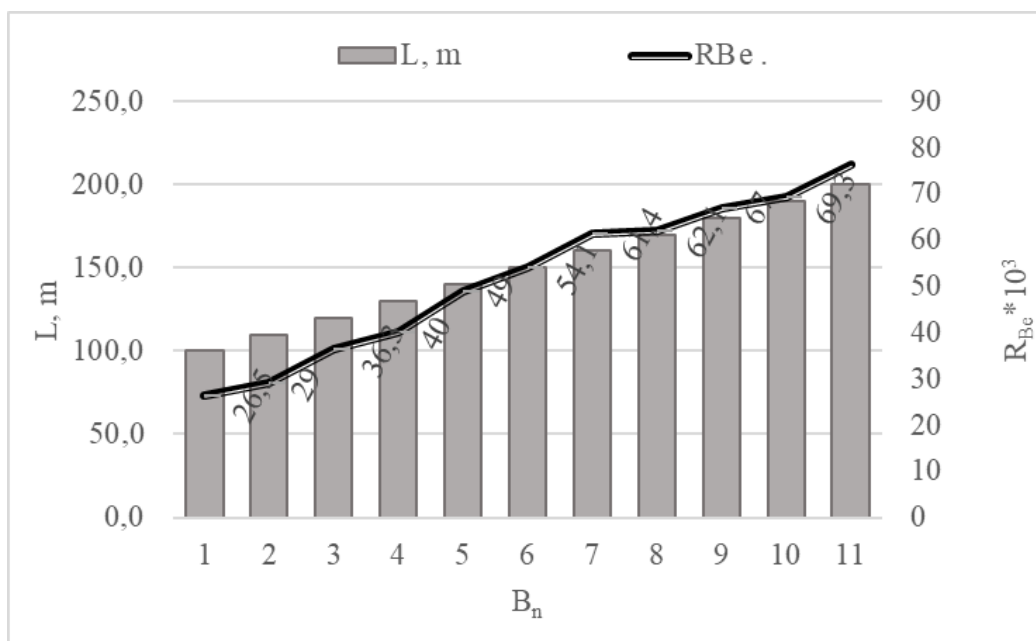
Matavimuose naudotas ir liuksmetras.

Liuksmetro SBS-LM-400C techninė charakteristika. Apšviečiamo paviršiaus ploto vienetai tenkantis šviesos srauto matavimo diapazonas: nuo 0 iki $400 \cdot 10^3$ Lx, tikslumas: 3 % esant mažiau nei ($<10^4$ Lx) / 4 % esant daugiau nei ($>10^4$ Lx), matavimo dažnis: du kartai per sekundę, foto detektorius: silicio foto diodas.

Atliktas automatinės automobilio žibintų valdymo sistemos testavimas realiomis lauko sąlygomis, rezultatai pateikti 10 paveiksle. Matavimai buvo atliekami po tris kartus kiekviename numatytame atstumo *l* režyje, kad sumažinti matavimų paklaidą ir nustatyti suprojektuotoje AŽV sistemoje įdiegto fotorezistoriaus

varžos parodymų vidutinę reikšmę R_{Be} . Bandymo metu buvo naudotas liuksmetras SBS-LM-400C, tam, kad nustatyti nuo šaltinio sklindančiai apšvietai E .

Atlikus matavimus nustatyta, kad didėjant atstumui l iki šviesos srauto šaltinio, varžos parodymai išdėsto tolygiai didėjimo tvarka, t.y. $R_{Be,max} = 76,2 \cdot 10^3 \Omega$, šviesos šaltiniui nutolus 200 m, o $R_{Be,min} = 26,5 \cdot 10^3 \Omega$ - 100 m. Šaltinio apšvieta mažėja, didėjant atstumui l .



10 pav. R_{Be} priklausomybė nuo atstumo iki šviesos šaltinio L
Šaltinis: sudaryta autorių

Vidutinė R_{Be} , reikšmė apskaičiuota pagal formulę (6):

$$\bar{R}_{Be} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Bi}}{n}, \quad (6)$$

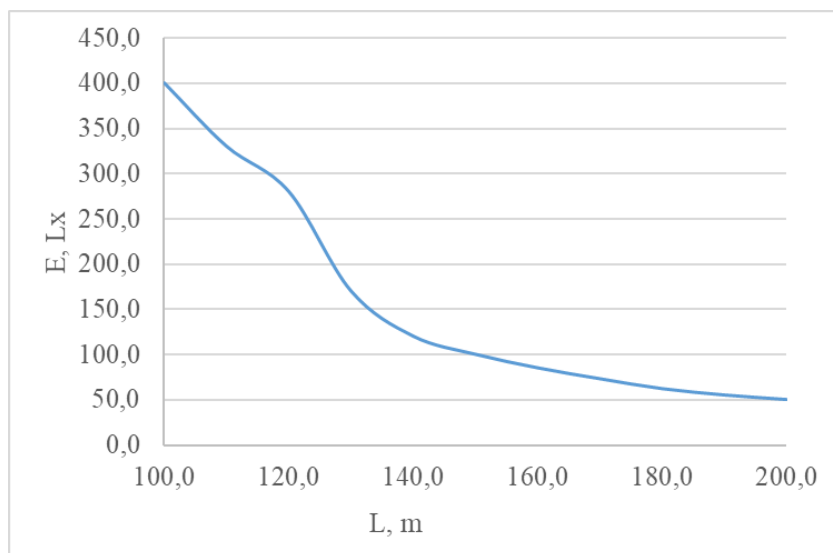
čia: $\sum_{i=1}^n R_{Bi}$ - fotorezistoriaus varžos parodymai matavimų metu, n - gautų matavimo rezultatų kiekis.

Iš 10 paveikslo matyti, kad varža didėja su atstumu: Tai rodo, kad šviesos srauto apšviestumas mažėja kuo toliau matavimai atliekami nuo šviesos šaltinio. Taip pat pastebimas matavimo rezultatų netolydumas varžos reakcijoje. Pavyzdžiui, tarp 160 m ir 170 m yra didesnis pokytis negu tarp 190 m ir 200 m. Manoma, kad tai yra kompleksinės šviesos srauto ir fotorezistoriaus sąveikos savybės. Nevienodas kitimas tarp kai kurių gretimų taškų gali būti nulemtas įvairių faktorių, tokių kaip netolygus šviesos šaltinio pasiskirstymas arba neišlaikytos matavimo sąlygos. Atlikus statistinius skaičiavimus nustatyta, kad vidutinė varžos reikšmė yra 54,2 k Ω ir atspindi vidutinį apšviestumo poveikį fotorezistoriui.

Standartinis nuokrypis yra pakankamai didelis (13,5 k Ω), o tai rodo, varžos reikšmių variaciją tarp matavimų. Tai gali būti susiję su įvairiais veiksniais, tokiais kaip aplinkos šviesos sąlygos arba fotorezistoriaus jautrumo ypatumai. Varžos reikšmės atstumui nuo 150 iki 200 metrų, rodo tolygų stabilumą šiame atstume.

Iš 11 paveikslo nustatyta, kad šviesos srauto apšviestumas E kinta priklausomai nuo atstumo ar ilgio l , tai yra apšviestumas mažėja, kai atstumas didėja. Tai susiję su šviesos išsisklaidymu, kuris paprastai didėja, kai atstumas tarp šviesos šaltinio ir matavimo padidėja.

Pagal atliktus statistinius skaičiavimus vidutinė apšviestumo reikšmė yra apie 168,82 Lx, tai santykinai aukštas vidutinio apšviestumo lygis. Mediana, vidurinė reikšmė, yra 100, o tai parodo, kad dauguma matavimų yra koncentruoti apie šią reikšmę, ir yra santykinai mažai išskirčių. Standartinis nuokrypis yra 51,6 kas reiškia, kad apšviestumo reikšmės gana išsiskiria nuo vidurkio, ir yra tam tikras variacijos lygis. Daroma prielaida, kad gauti matavimų rezultatai rodo gana didelį apšviestumo svyravimą, ir tai gali būti susiję su įvairiais veiksniais, tokius kaip šviesos šaltinio stiprumas, aplinkos sąlygos ir kt.



11 pav. Apšviestumo E (Lx) priklausomybė nuo atstumo L(m)
Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuojamas koreliacijos koeficientas tarp atstumo (L) ir apšviestumo (E) reikšmių:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{Be_i} - R_{Be}) (E_i - E)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{Be_i} - R_{Be})^2 \sum_{i=1}^n (E_i - E)^2}} = -0,986. \quad (7)$$

Gautas koreliacijos koeficientas r varžos (R_{Be}) ir apšviestumo (E) reikšmių parodo stiprų neigiamą statistinį ryšį, tai yra, kad kuo didesnė varža, tuo mažesnis apšviestumas ir atvirkščiai.

AŽV sistemos maketas išbandytas realiomis sąlygomis tam, kad įsitikinti ar sukurtas prietaisas veikia ir yra tinkamas montuoti į automobilį. Išsianalizavus gautus sistemos rezultatus, priimtas sprendimas prietaisą įmontuoti į automobilį. Kadangi, valdiklis, kuris panaudotas elektrinėje principinėje schemoje naudoja 20 mA, nuspręsta, kad reikalingas 25 mA su atsarga saugiklis, kad apsaugoti mikrovaldiklį nuo viršįtampių. Laidai lemputėms buvo parinkti atsižvelgiant į galingumą 0,5 mm², toks laidas tinkamas 11 A, o sistemoje naudojamos kaitrinės lemputės sunaudoja 9,16 A srovę.

Taip pat, tyrimo metu nustatyta, kad galima valdiklį suprogramuoti taip, kad ilgosios šviesos būtų perjungtos į trumpąsias nemažesniu nei 150 metrų atstumu nuo važiuojančios priešais transporto priemonės, kaip numatoma KET.

Išvados

1. Atlikus panašių AŽV sistemų apžvalgą nustatyta, kad apžvelgtos sistemos nėra mobilios, turi indikaciją prietaisų skydeliuose ir informuoja vairuotoją, kad sistema yra įjungta, tik skiriasi informacijos apdorojimo ir pateikimo skydelyje greičiai. Visų apžvelgtų automobilių AŽV sistemos įsijungia perjungus šviesų režimą į automatinį, tačiau LEXUS RX 2020 automobiliai turi atskirą mygtuką sistemai, kad ši galėtų būti įjungta ir išjungta. Suprojektuota automatinė automobilio žibintų valdymo sistema aktyvuojama naudojant automatinį žibintų mygtuką. Į mikrovaldiklį iš šviesos srauto jutiklio perduodamas duomenų signalas, nustatoma ar jutiklis (fotorezistorius) veikiamas šviesos srauto, o esant apšvietai, mikrovaldiklis, gavęs signalą sužadina relę, jos kontaktai atsijungia ir tuomet išjungiamos ilgosios šviesos.

2. AŽV sistemos šviesos srauto jutiklis veikia kaip įtampos daliklis. Atlikus sistemos testavimą realiomis lauko sąlygomis, neapšviestoje automobilių aikštelėje, esant 3 laipsnių šalčio temperatūrai nustatyta, kad 100 - 200 metrų atstume ir jam mažėjant kas 10 metrų, tarp šviesos srauto ir jutiklio varža R_{Be} tolygiai mažėja, o išmatavus paviršiaus apšvietą E su liuksmetru ši didėja. $R_{Be,max} = 76,2 \cdot 10^3 \Omega$, šviesos šaltiniui nutolus 200 m nuo AŽV sistemos, o $R_{Be,min} = 26,5 \cdot 10^3 \Omega$ - 100 m, o apšviestumas E mažėja, didėjant atstumui l. Kiekvieno numatyto atstumo metu parodymai tikrinami 3 kartus. Pagal gautus matavimų rezultatus atlikus skaičiavimus, nustatyta, kad varža ir apšviestumas tarpusavyje koreliuoja, $r = -0,986$ ir parodo stiprų neigiamą ryšį. Pagrindinė stebima tendencija yra tai, kad AŽV sistemos fotorezistoriaus varža didėja su atstumu nuo šviesos šaltinio, o apšviestumas mažėja, nes kuo toliau nuo šviesos šaltinio, tuo mažiau šviesos jį pasiekia. AŽV sistemoje naudojant LDR fotorezistorių nustatyta, kad fotorezistorius sumažina savo varžą kaip atsaką į apšviestumo padidėjimą, tad, šį efektą galima panaudoti šviesos reguliavimui ar kitų šviesos funkcijų valdymui, pavyzdžiui, automatiškam automobilio žibintų ryškumo reguliavimui

priklausomai nuo kelio apšvietimo sąlygų. Galima teigti, kad sukurta AŽV sistema atitinka numatytus reikalavimus ir gali būti sėkmingai integruota į automobilį, atsižvelgiant į KET rekomendacijas.

Literatūra

1. Asulmady M., Alboon S. Intelligent Automatic High Beam Light Controller. 2013 [žiūrėta 2023 11 24]. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/296183467>.
2. F. Van Derlofske et al. White LED sources for vehicle forward lighting. Proc. SPIE, 2002.
3. Haraoubia B. Nonlinear Electronics 1. Nonlinear Dipoles, Harmonic Oscillators and Switching. Circuits. ISTE Press - Elsevier. 2018. DOI 10.1016/C2017-0-01442-8.
4. Y.S. Chen et al. New method of automatic control for vehicle headlights Optik Stuttg, 2018.
5. Jungtinių Tautų Europos ekonominės komisijos (JT EEK) taisyklė Nr. 48. www.eur-lex.europa.eu. 2018.[žiūrėta 2023 11 22]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/>.
6. Kotob D. Blinded by the Night. Course STWJHI063-2. Jobson Medical Information LLC. 2022
7. Lexus RX (RX 350L, RX450h) 2016-2023 Owner's Manual: Automatic High Beam. 2023 [žiūrėta 2023 12 05]. Prieiga per internetą: https://www.lexusrx.net/67/automatic_high_beam.html.
8. Lietuvos Respublikos Vyriausybė. Dėl kelių eismo taisyklių patvirtinimo. 2002 [žiūrėta 2023 11 22]. Prieiga per internetą: <https://www.infolex.lt/ta/65354>.
9. Liu et al. A blind spot detection and warning system based on millimeter wave radar for driver assistance Optik Stuttg, 2017.
10. Meftah Hrairi and Anwar B. Abu Bakar. Development of an Adaptive Headlamp Systems. IEEE Transaction on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2010, 11-13 May 2010.
11. Retrofitting high beam assist [interaktyvus]. 5series.net. 2014 [žiūrėta 2023 11 21]. Prieiga per internetą: <https://5series.net/>.
12. Snehal Parhad, "Development of Automotive Adaptive Front Lighting System," Proceedings of IRF International Conference, 5th & 6th February 2014, Pune India. ISBN: 978-93-82702-56-6.
13. T. Hacibekir, S. Karaman, E. Kural, E.S. Öztürk, M. Demirci and B. Aksun Güvenç, "Adaptive Headlight System Design Using Hardware-In-The-Loop Simulation, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications Munich, Germany, October 4-6, 2006.
14. Tutorial - Retrofitting Lane Assist | Sign Assist | Light Assist - 5Q0980653 [interaktyvus]. mqb.pl. 2018 [žiūrėta 2023 11 26]. Prieiga per internetą: <https://mqb.pl/en/tutorial-retrofitting-lane-assist-sign-assist-light-assist-5q0980653/>.
15. Z.F. Zhang et al. Research on lamp auto-control system based on infrared image processing Optik Stuttg, 2016.

RESEARCH OF A DESIGNED AUTOMATIC HEADLIGHT CONTROLLING SYSTEM AT DIFFERENT DISTANCES FROM THE LIGHT SOURCE AS RECOMMENDED BY ROAD TRAFFIC REGULATIONS

Summary

The purpose of this article is to create an automatic headlight controlling system for a car by using light sensor then complete resistance measurements and light intensity correlation. During the research, there were done measurements of light flux intensity at different distances from light sources as recommended in road traffic rules. The system was designed to improve safety and comfort by automatically switching high beams. The project is composed of a review of similar systems, projecting an automatic headlight controlling system, engineering simulation, and experimental tests. The main benefits of the system are increased safety and comfort, and it can be adapted to different types of vehicles. The results showed a strong negative statistical relationship between the photoresistor resistance impedance and the luminous flux intensity, and because of that it allows to design efficient automatic headlight controlling system.

Key words: road traffic rules, headlights, light flux, controller, distance.

AUTOMOBILIO LANGŲ PRITAIKYMO AUTOMOBILIO SALONO VENTILIAVIMUI GALIMYBIŲ STUDIJA

Martynas Malinauskas, Artūras Aleksynas
Kauno Technikos kolegija

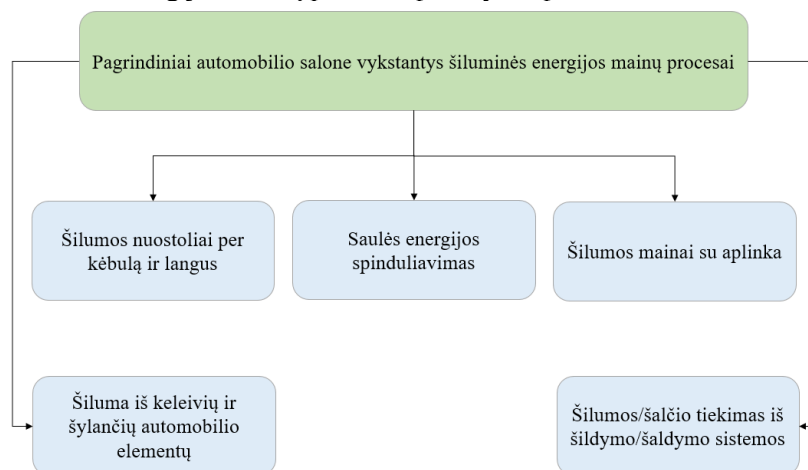
Anotacija

Straipsnyje analizuojamas probleminis klausimas – kaip į automobilio langų valdymo sistemą integruoti automatinio ventiliavimo funkciją? Problemai spręsti buvo suformuluotas tikslas – atlikti automobilio šoninių langų pritaikymo salono ventiliavimui galimybių analizę. Pagrindiniai straipsnio uždaviniai yra apžvelgti esamus ventiliavimo įrenginius ir įvertinti alternatyvias ventiliavimo galimybes. Atlikta dažniausiai pasitaikančių automobilio salono ventiliavimo būdų studija, pasiūlytas algoritmas, kaip šoninius langus, su elektriniu valdymu, pritaikyti automobilio salono ventiliavimui. Sukurto algoritmo privalumai – energijos taupymas, saugumo algoritmas, ir galimybė vairuotojui aktyvuoti arba deaktivuoti ventiliavimą.

Reikšminiai žodžiai: temperatūra automobilio viduje, automobilio salono ventiliavimas, automobilio langų valdymas, temperatūrų skirtumas, energijos taupymas.

Įvadas

Daugeliui vairuotojų kyla klausimas – kaip pagerinti automobilio salono ventiliavimą karštuoju metų laiku, esant priparkuotam automobiliui. Norint įvertinti ar natūralus (nenaudojant šaldymo priemonių) salono ventiliavimas duotą norimą efektą, reikalingi duomenys, kaip kinta priparkuoto automobilio salono temperatūra, esant įvairioms sąlygoms, tiek automobilio išorėje tiek jo salone. Pagrindiniai automobilio salone vykstantys šiluminės energijos mainų procesai parodyti 1 paveiksle.



1 pav. Pagrindiniai automobilio salone vykstantys šiluminės energijos mainų procesai

Šaltinis: Sudaryta autorių

Temperatūrai nustatyti, esant įvairioms sąlygoms, pavyzdžiui, kai vertinamas šilumos perdavimas tarp išorinės aplinkos ir automobilio, būtų galima taikyti šilumos perdavimą aprašančią formulę:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T, \quad (1)$$

čia: Q – šilumos kiekis, U – medžiagos šilumos laidumo koeficientas, A – šildomo paviršiaus plotas, ΔT – dviejų aplinkų temperatūrų skirtumas.

Ši formulė leidžia apibūdinti šilumos perdavimą iš vienos struktūros į kitą.

Temperatūros režimai automobilio salone yra sudėtingas šilumos procesų sąveikos rezultatas. Pasinaudojus šilumos mainų lygtimi galima aprašyti salono temperatūros pokyčio dinamiką laike, t.y. kaip vyksta šilumos mainai automobilio salone ir kaip ten greitai (ar lėtai) keičiasi temperatūra:

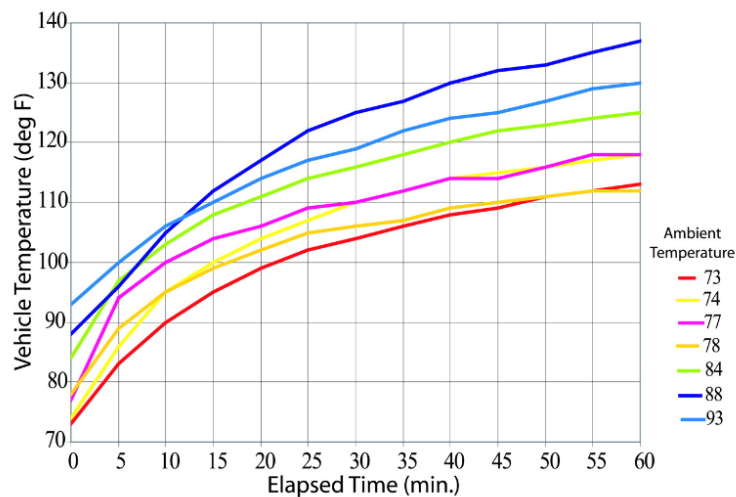
$$Q_{\text{perdav}} - Q_{\text{nuost}} = C \cdot m \cdot \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$

čia: Q_{perdav} – šilumos gamyba automobilio salone (analizuojamu atveju didžiausią įtaką turėtų saulės energija), Q_{nuost} – šilumos nuostoliai per langus, kėbulą ir kitas automobilio dalis, $\frac{\partial T}{\partial t}$ – temperatūros pokyčio greitis salone per laiko vienetą, C – specifinis šilumos kiekis, m – oro masė salone.

Ši lygtis leistų įvertinti, kaip salone įšyla arba atšąla oras, priklausomai nuo įvairių veiksnių įtakos, tačiau paminėtų veiksnių (1 pav.) verčių nustatymui reikėtų atlikti pakankamai daug specifinių tyrimų, todėl, siekiant įvertinti kaip kinta temperatūra saulėtą dieną automobilio salone buvo vadovautasi McLaren C, Null

J ir Quinn J. atliktu tyrimu – „Heat stress from enclosed vehicles: moderate ambient temperatures cause significant temperature rise in enclosed vehicles“. Pagal šio tyrimo gautus rezultatus, saulėtą dieną temperatūra priparkuoto automobilio salone, kai kuriais atvejais, gali pakilti daugiau nei du kartus, jei vertinti °C (Celsijaus skalėje), lyginant su temperatūra automobilio išorėje. Forenheito (°F) skalėje temperatūros priklausomybė nuo laiko automobilio viduje parodyta 2 paveiksle (McLaren, 2005).

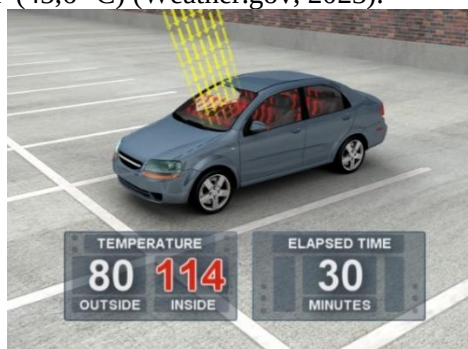
Temperature inside a vehicle (air temperature ranging from 73 - 93 F)



2 pav. Temperatūros priklausomybė nuo laiko automobilio viduje saulėtą dieną

Šaltinis: [6]

Vienas iš temperatūrų skirtumo iliustruojančių pavyzdžių pateiktas 3 paveiksle, kur temperatūra automobilio išorėje yra 80 °F (26,7 °C). Tokiu atveju pilnai uždarytam automobilio salone, po 30 min., temperatūra gali pakilti iki 114 °F (45,6 °C) (Weather.gov, 2023).



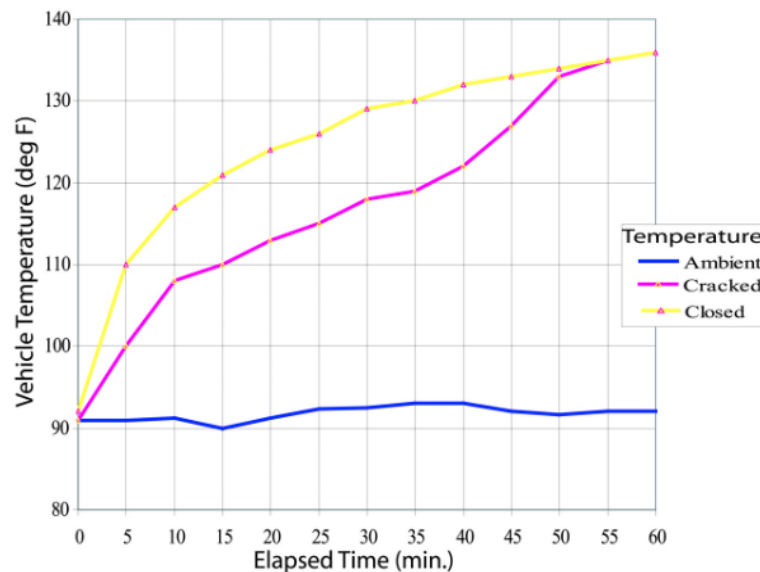
3 pav. Temperatūra po 30 min automobilio išorėje ir viduje

Šaltinis: [13]

„National Oceanic and Atmospheric Administration“ paskelbtais duomenimis (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023) automobilio salone esančios tamsių spalvų detalės (vairas, sėdynės ir kt.) gali įkaisti iki 180 – 200 °F (82 – 93 °C). Atsisėdus į tokį automobilio saloną nei vairuotojas, nei keleiviai nesijaus patogiai. Tokia aplinka gali ženkliai trikdyti vairuotojo dėmesį, o tai gali įtakoti nesaugų vairavimą. Pasauliniu mastu kiekvienais metais pasitaiko atvejų, kai žūsta automobilio viduje palikti gyvūnai, netgi nutinka nelaimingi atsitikimai su mažamečiais vaikais (McLaren, 2005). Natūralus automobilio salono ventiliavimas, tikėtina, kad tik iš dalies padėtų spręsti minėtas problemas. Atlikti tyrimai (McLaren, 2005) rodo, kad ir su pravertais langais (tyrimas buvo atliekamas, kai langai praverti 1,5 Inch arba 3,81 cm) tiesioginės saulės spinduliuose priparkuoto automobilio vidaus temperatūra, po 50 min., pasiekia tą pačią reikšmę, kaip ir visiškai uždaryto automobilio sąlygomis (4 pav.). Tačiau intervale nuo 5 iki 40 min. automobilio salone su pravertais 3,81 cm langais temperatūra būtų mažesnė maždaug 11 °F (6 °C). Galima teigti, kad situacijos, kai automobilis paliekamas priparkuotas 5-40 min. pasitaiko gana dažnai: atvykus į prekybos vietą, maitinimo įstaigą ir kitomis panašiomis aplinkybėmis. Būtent tokiais atvejais praverti automobilio langai galėtų įtakoti mažesnę salono įkaitimą. Taip pat svarbu paminėti, kad atlikto tyrimo sąlygų aprašyme nėra duomenų apie vėjo greitį ir pūtimo kampą automobilio atžvilgiu. Tikėtina, kad pučiant tam

tikro stiprumo vėjui į pravertus langus, temperatūra automobilio salone būtų mažesnė, nei parodyta 4 paveiksle. Tokiu atveju automobilio su pravertais langais salono ventiliavimo efektyvumas tikėtina padidėtų.

Temperature inside a vehicle (closed vs cracked window)



4 pav. Temperatūra automobilio salone esant uždariems ir pravertiems langams

Šaltinis: [6]

Iš atliktos apžvalgos kyla probleminis klausimas - kokie būdai leistų integruoti automatinio ventiliavimo funkciją į automobilio langų valdymo sistemą, nekeičiant automobilio konstrukcijos?

Tyrimo objektas – automobilio ventiliavimo sistemos.

Tyrimo tikslas: atlikti automobilio šoninių langų pritaikymo salono ventiliavimui galimybių analizę.

Tyrimo uždaviniai:

3. Apžvelgti dažniausiai pasitaikančių automobilio ventiliavimo įrenginių savybes ir techninius parametrus.

4. Pasiūlyti alternatyvias automobilio salono ventiliavimo galimybes.

Tyrimo metodai ir priemonės: Turinio analizė, lyginamoji analizė.

Straipsnis sudarytas iš dviejų dalių: pirmoje dalyje apžvelgiamos ir analizuojamos dažniausiai pasitaikančios automobilio salono ventiliavimo priemonės, antroje – automobilio salono ventiliavimo alternatyvus sprendimas.

Esamų automobilio salono ventiliavimo priemonių apžvalga

Kai kuriuose šiuolaikiniuose automobiliuose yra įrengtos gamyklinės salono ventiliavimo priemonės (5 pav.)

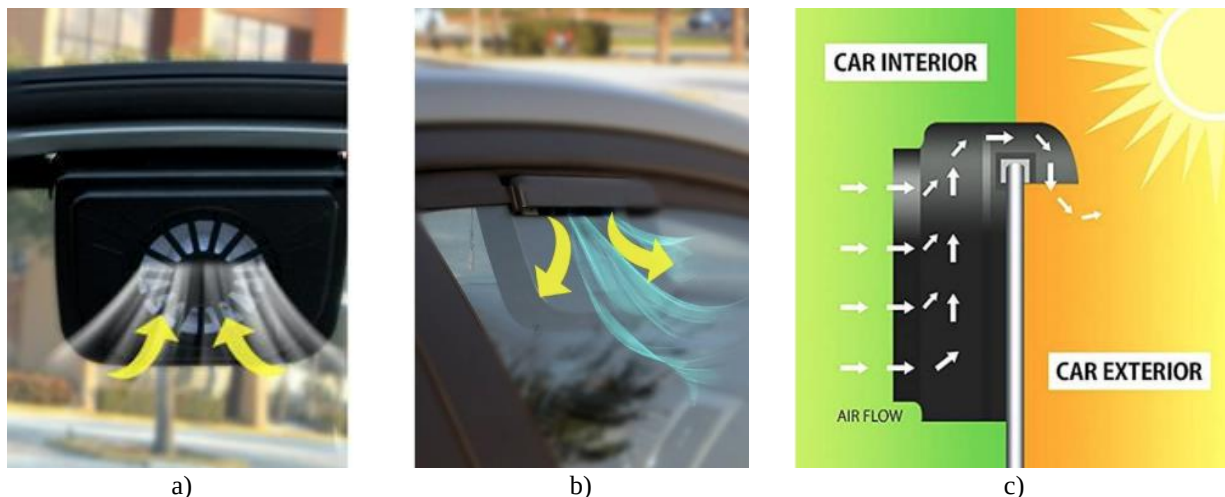


5 pav. Ventiliavimo aktyvavimo galimybė BMW markės automobilyje

Šaltinis: [3]

Sprendžiant iš automobilių, kuriuose yra tokios sistemos, savininkų atsiliepimų forumuose, galima daryti prielaidą, kad tokio tipo automobilio salono ventiliavimas nėra pakankamai efektyvus, kadangi ventiliavimo principas pagrįstas oro, esančio salono viduje, cirkuliacija (M5BOARD.COM Parked Car Ventilation, 2023). Taip pat kaip trūkumą galima paminėti ir automobilio baterijos energijos sąnaudas, nes oro cirkuliacijai užtikrinti, naudojami automobilyje įmontuoti elektriniai ventiliatoriai.

Rinkoje yra papildomų priemonių, pritaikytų automobilio salono ventiliavimui. Vienas iš sprendimų parodytas 6 paveiksle. Salono ventiliavimui, kaip ir aukščiau apžvelgtu atveju, naudojamas elektrinis ventiliatorius. Ventiliatoriaus variklis gali būti aprūpinamas energija iš automobilio baterijos arba taip pat rinkoje yra pasiūlymų (7 pav.), kai gali būti naudojama saulės energija. Tiek vienu, tiek kitu atveju, automobilio ventiliavimo principas – oro ištraukimas iš automobilio salono į išorę. Ar tokios sistemos pateisina vartotojų lūkesčius, vienareikšmiškos išvados daryti negalima, tačiau įvertinus atsiliepimus forumuose (Amazon. Window cooling, 2023) ir atliktų tyrimų rezultatus (Mohamed Kamar, 2016), taip pat galima daryti prielaidą, kad tokiu ar panašiu būdu problema galėtų būti išspręsta tik dalinai, t. y. vidutiniškai temperatūrą būtų galima sumažinti iki 8,3 °C. Be kita ko tokioms sistemoms, reikalinga papildoma instaliacija, taip pat jos pakeičia originalią automobilio išvaizdą, kas automobilio savininkui gali būti nepatrauklu. Tokių sistemų privalumas - universalumas, jos gali būti įmontuotos į bet kokios markės automobilį.



6 pav. Papildoma sistema automobilio salono ventiliavimui: a) - montavimas automobilio durelėse (vidinė pusė), b) - montavimas automobilio durelėse (išorinė pusė), c) – veikimo principas

Šaltinis: [12]

Rinkoje taip pat yra sprendimų, kai sąlyginai mažų išmatavimų ventiliatoriai gali būti įmontuoti į priešingus šoninius automobilio langus (8 pav.).



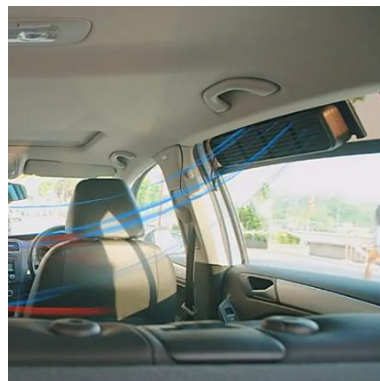
7 pav. Saulės energija maitinama automobilio salono ventiliavimo sistemos: a) –pavyzdys, b) –montavimas automobilio durelėse

Šaltinis: [11]

Šių sistemų kaip privalumą galima įvardinti tai, jog vieno lango ventiliatoriai įtraukia orą į saloną, o kito lango ventiliatoriai ištraukia orą iš salono į išorę. Tokiu būdu užtikrinama nuolatinė oro kaita automobilio salone (9 pav.).



a)



b)

8 pav. Ventiliatoriai gali būti montuojami priešingose salono pusėse (parodyta tik viena pusė): a) – montavimas automobilio durelėse (išorinė pusė), b) – montavimas automobilio durelėse (vidinė pusė)

Šaltinis: [10]

Tačiau, kaip jau buvo minėta papildomos automobilio ventiliavimo sistemos reikalauja ir papildomų jų instaliavimo, taip pat pakeičia automobilio išvaizdą. Paminėti aspektai gali būti priimtini ne visiems automobilių vairuotojams. Iš atliktų tyrimų (Purnomo, 2020), matyti, kad naudojant panašią sistemą, temperatūrą automobilio salone galima sumažinti iki 10 °C.



9 pav. Nuolatinė oro cirkuliacija automobilio salone

Šaltinis: [8]

Kaip alternatyvą vairuotojai dažnai pasirenka tiesiog palikti pravirus automobilio langus (10 pav.). Jau buvo minėta įžangoje, kad tai gali sumažinti automobilio salono temperatūrą maždaug 6 °C.



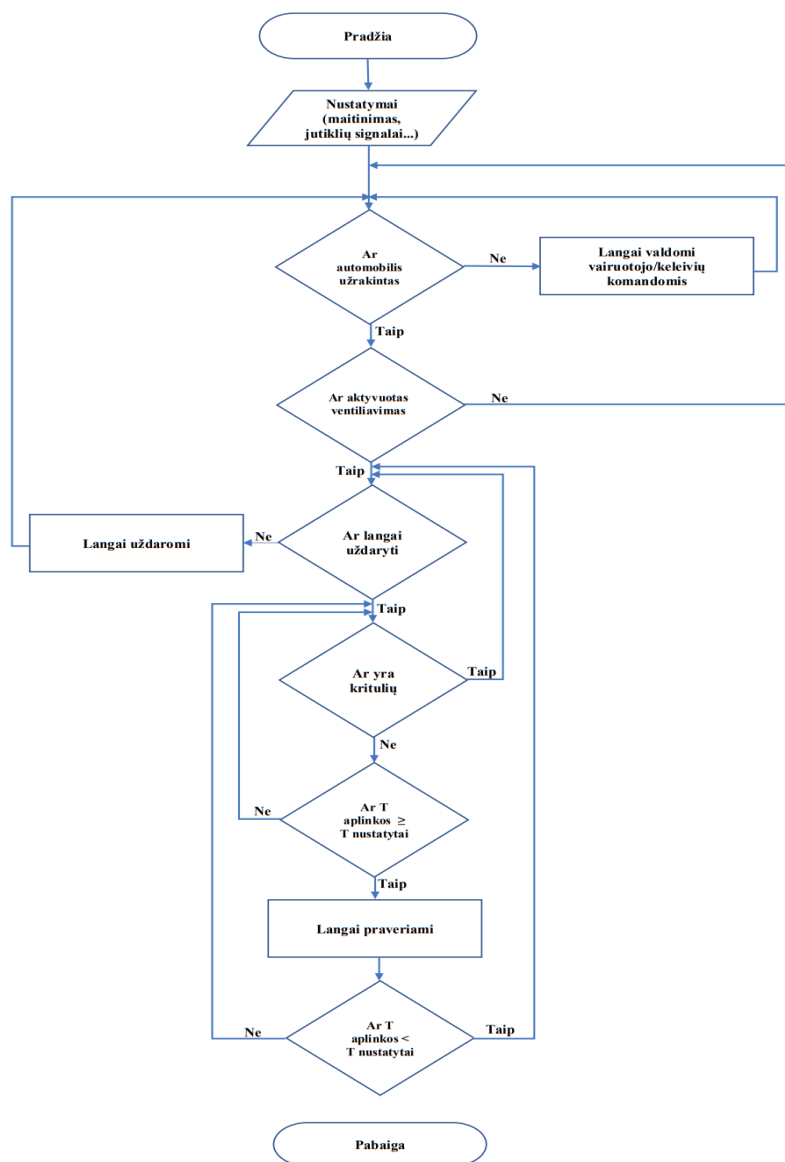
10 pav. Automobilio salono ventiliavimas su pravertais langais

Šaltinis: [1]

Toks automobilio salono ventiliavimo būdas yra pagrįstas savaimine oro cirkuliacija, kuri susidaro dėl temperatūrų skirtumo automobilio viduje ir išorėje.

Automobilio salono ventiliavimo sistemos alternatyvūs sprendimai

Automobilio salono ventiliavimą, kai paliekami praviri langai, galima būtų automatizuoti. Tuo tikslu reiktų pakeisti automobilių langų (valdomų elektra) valdymo algoritmą, kadangi dabar automobilių gamintojų siūlomi langų valdymo būdai, kaip taisyklė, apsiriboja rankiniu arba distanciniu (pulteliu) valdymu.



11 pav. Automobilio langų valdymo algoritmas
Šaltinis: Sudaryta autorių

Galimas alternatyvus langų valdymo algoritmas pateiktas 11 paveiksle. Tokio salono ventiliavimo būdo trūkumas – nepakankamas automobilio saugumas (praverti langai gali įtakoti automobilio ar daiktų iš automobilio vagystę), todėl algoritme yra numatyta galimybė vairuotojui priimti sprendimą – aktyvuoti automatinę ventiliavimo funkciją, ar ne. Kaip pavyzdį galima paminėti, kad automobiliai neretai paliekami saugomose aikštelėse, privačioje valdoje, tokiais ir panašiais atvejais, praverti langai automobilio saugumui įtakos neturėtų, tačiau, bet koku atveju, sprendimą turėtų priimti vairuotojas. Rekomenduojama neaktyvuoti automatinės salono ventiliavimo funkcijos su pravertais automobilio langais, nesaugiose nuo vagysčių vietose.

Algoritme taip pat numatytas langų valdymas, kuris priklauso nuo aplinkos sąlygų – lietaus ir temperatūros. Jei aplinkos sąlygos keičiasi iš giedro oro į lietų, automobilio langai automatiškai uždaromi. Taip pat yra numatyta galimybė pasirinkti aplinkos temperatūrą, prie kurios langai būtų praveriami.

Diskusija. Pateiktame automobilio langų valdymo algoritme galima būtų numatyti papildomų funkcijų. Tuo atveju, jei susidarytų skirtingos temperatūros, skirtingose automobilio salono vietose, algoritmas galėtų reguliuoti langų atidarymą ir uždarymą siekiant išlyginti temperatūrų skirtumą salone. Taip pat galima būtų integruoti papildomus jutiklius, kurie matuotų automobilio salono ir aplinkos oro kokybę. Tarkim, jeigu automobilio salone būtų užfiksuota didelė anglies dioksido koncentracija arba pakiltų temperatūra, algoritme galima būtų numatyti automatišką langų pravėrimą ar atidarymą. Naudojant išmaniuosius jutiklius, vaizdo kameras galima būtų praplėsti išorinių sąlygų (paros laikas, kenksmingos medžiagos ir kt.) aplink automobilį

įvertinimą ir tokiu būdu sukurti adaptyvų langų valdymo algoritmą. Taip pat galima būtų numatyti galimybę pačiam vairuotojui nusistatyti individualius langų valdymo profilius pagal savo poreikius.

Išvados

1. Atlikus pasirinktų priparkuoto automobilio, salono ventiliavimo priemonių apžvalgą, galima teigti, kad visos jos, išskyrus automobilių gamyklines, reikalauja papildomos instaliacijos, pakeičia automobilio originalią išvaizdą. Paminėti aspektai priimtini ne visiems vairuotojams, todėl šie jomis tikėtina nesinaudos. Gamyklinės ventiliavimo sistemos yra tik kai kurių markių automobiliuose, jų veikimas pagrįstas elektrinių ventiliatorių aktyvacija, todėl ventiliavimo metu naudojama automobilio baterijos energija, tai gali apriboti ventiliavimo trukmę, dėl galimo baterijos išsikrovimo.

2. Pasiūlytas alternatyvus automobilio langų valdymo algoritmas, pagal kurį galima būtų užprogramuoti langų valdymą taip, kad pagal pasirinktus aplinkos sąlygų kriterijus, praviri langai atliktų automobilio salono ventiliavimo funkciją. Šios alternatyvos ventiliavimo efektyvumas nebus didesnis nei straipsnyje apžvelgtų ventiliavimo sistemų, tačiau pasiūlytas būdas turi šiuos privalumus: nereikalinga jokia papildoma ventiliavimo įranga, todėl nepakinta automobilio originali išvaizda; ventiliavimui praktiškai nereikalinga automobilio baterijos energija (energijos reikėtų tik automobilio langams praverti arba uždaryti). Dėl automobilio ar jame esančių daiktų saugumo algoritme numatytas ventiliavimo funkcijos aktyvavimas/deaktyvavimas, todėl vairuotojas visada gali priimti sprendimą – naudotis ja ar ne.

Literatūra

1. Albacars. Top Tips For Keeping Your Car Cool This Summer. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <https://www.albacars.ae/tips-for-keeping-car-cool-this-summer>.
2. Amazon. Window cooling. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: [Amazon.com: Customer reviews: Koolatron AutoKool Solar Powered Ventilation System Car Window Fan Vehicle Cooling System for Parked Car, Truck, SUV, Van.](https://www.amazon.com/Amazon-com-Customer-reviews-Koolatron-AutoKool-Solar-Powered-Ventilation-System-Car-Window-Fan-Vehicle-Cooling-System-for-Parked-Car-Truck-SUV-Van/)
3. BMW Parked Car Ventilation. [žiūrėta 2023-12-01]. Prieiga per internetą: [www.BMW Parked Car Ventilation video/](https://www.BMW-Parked-Car-Ventilation-video/).
4. Mohamed Kamar H., Kamsah N., Sabri I. S., & Musa M. N. Reducing soak air temperature inside a car compartment using ventilation fans. Jurnal Teknologi. 2016. 78:(8-4).
5. M5BOARD.COM Parked Car Ventilation. [žiūrėta 2023-12-01]. Prieiga per internetą: [M5BOARD.COM Parked Car Ventilation](https://www.m5board.com/parked-car-ventilation/).
6. McLaren C., Null J., Quinn J. Heat stress from enclosed vehicles: moderate ambient temperatures cause significant temperature rise in enclosed vehicles. Pediatrics. 2005. 116(1):109-112. DOI: 10.1542/peds.2004-2368. PMID: 15995010.
7. National Oceanic and Atmospheric Administration. [žiūrėta 2023-12-01]. Prieiga per internetą: <https://www.weather.gov/lax/excessiveheat-automobiles>.
8. Phoenix Electronics & Toys Co. Cross ventilation. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <https://web.acool.global/store/index.php?route>.
9. Purnomo B. C., Setiawan I. C., Nugroho H. A. Study on cooling system for parked cars using mini air cooler and exhaust fan. Automotive Experiences. 2020. 3(2):81:88
10. Thesuperboo. Easily Reduce Heat in Parked Car. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <https://www.thesuperboo.com/reduce-heat-in-parked-car/>.
11. Walmart. Solar exhaust fan car exhaust fan exhaust radiator ventilation fan car cooling. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <https://www.walmart.com/ip/Solar>.
12. Walmart. Window Cooler. [žiūrėta 2023-12-03]. <https://www.walmart.com/Window-Cooler/39585017>.
13. Weather.gov. [žiūrėta 2023-12-01]. Prieiga per internetą: https://www.weather.gov/images/lax/wcm/hot_car_30min.jpg.

STUDY OF THE POSSIBILITIES OF ADAPTATION CAR WINDOWS FOR CAR INTERIOR VENTILATION

Summary

Issue - how to integrate the automatic ventilation function into the car's window control system is analyzed. For solving the problem, the aim was formulated - to perform an analysis of the possibilities of adapting the car's side windows for interior ventilation. The main objectives of the article are to review existing ventilation devices and evaluate alternative ventilation options. A study of the most common methods of car interior ventilation is carried out, and an algorithm how to adapt side windows with electric control system for car interior ventilation is proposed. The advantages of the developed algorithm are: energy saving, security algorithm, and the possibility for the driver to activate or deactivate ventilation.

Keywords: Temperature inside a car, a car interior ventilation, a car windows control, temperature difference, energy saving.

SPORTINIO MOTOCIKLO RATŲ PADANGŲ TEMPERATŪRŲ TYRIMAS NEMUNO ŽIEDO IR AUKŠTADVARIO KARTODROMO TRASOSE

Simas Ferevičius, Rasa Žygienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Motociklų sportas, tai pavojinga, tačiau labai populiarėjanti sporto šaka. Avarijos yra šio sporto dalis, tačiau tobulėjant technologijoms stengiamasi jų skaičių sumažinti. Viena iš tokių priemonių yra sportinių motociklų ratų padangų stebėjimo sistema, kuri stebi motociklų padangų temperatūrą ir informuoja vairuotoją. Kadangi padangos yra vienintelis komponentas, kuris kontaktuoja su kelio danga ir jų sukibimas palaiko motociklo stabilumą ši informacija yra labai svarbi. Šiuo darbu buvo siekiama ištirti ratų padangų temperatūros kitimą lauko sąlygomis skirtingose trasose su sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo (toliau SMRTS) sistema. Straipsnyje nagrinėjama sportinių motociklų padangų temperatūros stebėjimo sistema ir jos taikymo galimybės realiomis sąlygomis skirtingose trasose. SMRTS sistemos bandymai realiomis sąlygomis parodė, kad ji yra veiksminga įvairiose trasose, nepriklausomai nuo motociklo ir padangų modelio. Padangos efektyviai atlieka savo funkcijas temperatūros režiuose nuo 60 °C iki 100 °C. SMRTS įrenginys yra universalus ir lengvai pritaikomas motociklams bei galintis įvertinti padangų techninius parametrus realiu laiku, taip prisidedant prie saugesnio ir efektyvesnio motociklo naudojimo.

Reikšminiai žodžiai: motociklas, saugumas, padangos, temperatūros jutiklis, padangų temperatūra, sukibimas.

Įvadas

Motociklų sportas, tai pavojinga sporto šaka, kuri kiekvienam asocijuojasi su dideliais ir pavojingais greičiais. Todėl avarijos šioje sporto šakoje yra neatsiejamas dalykas. Atlikti tyrimai parodo, kad aukščiausiam lygįje avarijų dažnumas yra apie 9,7 per šimtą motociklininko valandų praleistų trasoje (Bedolla et al, 2016). Motociklų sporte avarijos yra skirstomos į pagrindinius 3 tipus (Hugelius et al, 2021). Pirmasis avarijų tipas yra žemo griuvimo, kai motociklas būna posvyrio kampe, praranda sukibimą ir nugriūva ant šono. Antrasis tipas aukšto griuvimo, šie incidentai susiję su staigiais ir smarkiais motociklo persukimais, kai motociklas persukimo momentu virsta, o vairuotojas yra numetamas per viršų. Trečiasis tipas motociklų susidūrimai tarpusavyje. Atsižvelgiant į statistiką pateiktą straipsnyje (Bedolla et al, 2016) dažniausiai įvykstančios avarijos būna pirmojo tipo: žemo griuvimo. Šių avarijų metu motociklas būna posvyrio kampe, todėl padangos kontaktinis plotas būna sumažėjęs, o ją veikiamų jėgų skaičius padidėja (Lot, 2004). Todėl norint išvengti šio tipo avarijų motociklų padangų sukibimas turi būti pilnai išnaudojamas.

Motociklų padangos yra sudarytos iš 4 pagrindinių elementų (OPONEO.CO.UK, 2021): karkaso, kuris sudaro padangos struktūrinį rėmą, struktūrinių sluoksnių, kurie padangai suteikia tvirtumą, protektoriaus, kuris užtikrina padangos sukibimą ir vandens pašalinimą ir padangų kraštai, šis elementas atsakingas už motociklo sukibimą posvyrio kampe, šie kraštai gali būti užapvalinti iki 50 °. Iš šių elementų labiausiai veikiamas temperatūros yra protektorius (Farroni et al, 2017), tai cheminė kombinacija įvairių gumos pagrindo medžiagų, kurių efektyvumas ir savybės keičiasi priklausomai nuo temperatūros. Šią temperatūrą padangos įgauna iš slydimo trinties, kai motociklas yra posvyrio kampe arba stabdymo momente, taip pat temperatūra yra generuojama iš trinties su dangos paviršiumi (Sharp et al, 2016). Padanga įgaudama šią šilumą minkštėja ir važiavimo metu labiau prisitaiko prie kelio dangos nelygumų, o važiuojant didesniu posvyrio kampu padidėja padangos kontaktinis plotas.

Straipsnyje (Farroni et al, 2020) atlikti motociklų padangų sukibimo priklausomai nuo temperatūros bandymai parodo, kad motociklo padangų sukibimas pradeda didėti nuo 70 °C ir kyla iki 100 °C, tačiau nuo 100 °C padangų efektyvumas pradeda mažėti. Tai parodo, kad taip pat ir per aukštą padangų temperatūrą nėra efektyvu ir kritiškai paspartina padangų protektoriaus dilimą. Todėl norint išgauti pilną padangų efektyvumą reikia jas išlaikyti optimalios temperatūros režiuose ir apie tai pranešti vairuotojui.

Darbo problema: kokie metodai ir inžineriniai būdai leistų nustatyti motociklo ratų padangų temperatūrą realiose trasose su sukurta sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistema?

Darbo tikslas: ištirti ratų padangų temperatūros kitimą lauko sąlygomis skirtingose trasose su suprojektuota sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo (toliau SMRTS) sistema.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti panašių motociklų ratų padangų stebėjimo sistemų apžvalgą ir lyginamąją analizę bei suprojektuoti SMRTS sistemą.

2. Atlikti motociklo ratų padangų temperatūros tyrimus realiomis sąlygomis, skirtingose trasose, esant intensyvioms ratų apkrovoms bei naudojant suprojektuotą SMRT sistemą.

Straipsnis sudarytas iš trijų dalių. Pirmosios dalies atlikimui parengiama analogiškų sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemų apžvalga ir lyginamoji analizė, kad įvertinti rinkoje

naudojamų panašių sistemų savybes. Taip pat nustatoma projektuojamos sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos, kurios palyginamos su analogiškų sistemų duomenimis. Antros dalies atlikimui pasitelkiamos inžinerinės projektavimo programos. Elektrinės principinės schemos projektavimas ir komponentų išdėstymo modeliavimas montažinėje plokštėje atliekamas „Circuitmaker“ programa. Šioje dalyje taip pat parenkami reikalingi komponentai sistemai, kurie atitinka keliamus reikalavimus, išsiaiškinamas jų veikimo principas. C programavimo kalbos naudojimui ir algoritmų rašymui naudojama „Keil uVision5“ programa. Trečioje dalyje atliekamas sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos tyrimas. Atsižvelgus į sistemos naudojimo galimybes blogomis oro sąlygomis buvo surinktas sistemos maketas, kuris demonstruoja sistemos veikimą. Atėjus motociklų sezonui pilna sistemos versija buvo sumontuota į motociklus. Su šia sistema buvo atlikti bandymai realiomis sąlygomis įvairiose trasose. Kurių metu buvo nustatyti temperatūrų režiai, kuriuose padangos veikia efektingai.

Praktinė nauda ir pritaikymo galimybės: Šios sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos montavimo į motociklus galimybės yra labai plačios, kadangi sistema nebus prižiūrima prie jokių motocikluose esančių valdymo sistemų, o įrenginiui bus reikalinga tik motociklo akumuliatoriaus energija. Todėl sistemą bus galima montuoti į visus „Sport“ ir „Street“ klasės motociklus. Naudojant šią sistemą vairuotojas turės galimybę tiksliau įvertinti motociklo ratų temperatūros techninius parametrus esamu laiku ir naudojantis šia informacija tiksliau numatyti savo veiksmus, taip išvengiant nelaimingų atsitikimų

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemų apžvalga ir lyginamoji analizė

Projektuojamos sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos techninės charakteristikos ir funkcijos:

- Temperatūros nustatymo funkcija.
- Temperatūros jutiklio darbinė temperatūra bent nuo 0 °C iki 125 °C.
- Temperatūros jutiklio matuojama temperatūra bent iki 150 °C.
- Maitinimo įtampa 12 V DC.
- Temperatūros jutiklių skaičius bent 2.
- Sistemos universalumas. Pritaikymas visiems sportinio tipo motociklams.
- Sistemos įjungimas ir išjungimas.
- Masė iki 800 g.

KOSO Mini 4 universalus padangos temperatūros matavimo įrenginys skirtas sportinio tipo motociklams. 1 paveikslėlyje parodytas įrenginys kartu su naudojamu jutikliu. Šis įrenginys naudoja infraraudonųjų spindulių jutiklį, kuris leidžia tiksliai nustatyti padangos paviršiaus temperatūrą. Sistemoje naudojamas tik 1 tokio tipo jutiklis, todėl temperatūrą galime nustatyti tik vienos padangos. Įrenginio daugiaviečiui ekranui nėra gamintojo numatyta speciali vieta ant motociklo, todėl ekranas gali būti montuojamas pagal vairuotojo norus. Atsižvelgus į šios sistemos techninius duomenis sistemą galima pritaikyti visiems sportinio tipo motociklams.



2 pav. KOSO Mini 4 padangų temperatūros matavimo įrenginys

Šaltinis: [Koso North America](#), [MINI 4 IFR](#)

KOSO Mini 4 padangų temperatūros matavimo įrenginio pagrindinės savybės (KOSO MINI 4 IFR instructions):

- Lengvai pritaikomas sportinio tipo motociklams.
- Matuoja padangų paviršiaus temperatūrą.
- Turi programuojamą įspėjimo indikaciją.
- Turi galimybę keitinėti matavimo vienetus.

KOSO Mini 4 padangų temperatūros matavimo įrenginio techniniai duomenys (Koso Europe, MINI 4 IFR, Model Number: BA033050):

- Mechaninis išjungimas ir įjungimas.
- Jutiklio darbinė temperatūra nuo -40 °C iki 125 °C.

- Jutiklio matuojama temperatūra iki 150 °C.
- Maitinimo įtampa 12 V DC.
- Jutiklio matavimo kampas 10 °.
- Masė 500 g.

TireTraker TT-700, tai belaidė sistema sukurta stebėti motociklų padangų temperatūrą ir slėgį. Kaip pavaizduota 2 paveikslėlyje įrenginį sudaro 3 pagrindiniai elementai, tai 2 jutikliai, kurie užsisuka ant padangų ventilių ir matuoja slėgį ir temperatūrą padangų viduje. Antrasis elementas, tai vaizdo indikatorius, kuris priima gaunamą signalą iš jutiklių ir perduoda šią informaciją vairuotojui. Taip pat šis elementas turi garsinį indikatorius, kurio pagalba praneša apie nustatytų padangų parametrų išėjimą iš ribų. Trečiasis elementas, tai vaizdo indikatoriaus tvirtinimas, kuris leidžia prietaisą pritvirtinti prie motociklo vairo. Tačiau šis tvirtinimo tipas yra tinkamas motociklams, kurie turi plačius ir lygius vairus. Todėl atsižvelgiant į sportinių motociklų vairo struktūrą ir padėtį, šis tvirtinimo elementas nėra pritaikomas tokio tipo motociklams, kas padaro šį įrenginį neuniversalų.



3 pav. TireTraker TT-700 sistemos elementai
Šaltinis: *TT-700 Tire Monitoring System*

TireTraker TT-700 padangų parametrų matavimo sistemos pagrindinės savybės (TireTraker TT-700 Motorcycle system manual):

- Turi garsinę įspėjimo funkciją.
- Matuoja padangų slėgį ir temperatūrą.
- Belaidis.
- Lengvai sumontuojamas.

TireTraker TT-700 padangų parametrų matavimo sistemos techniniai duomenys (TireTraker TT-700 Motorcycle system manual):

- Mechaninis įjungimas ir išjungimas.
- Jutiklio matuojama temperatūra nuo -20 °C iki 85 °C.
- Įrenginio ekrano įkrovimo įtampa 12 V DC.
- Jutiklių baterijų įtampa 3 V DC.
- Darbinė sistemos temperatūra nuo -20 iki 60 °C.
- Masė 420 g.

Panašių analogiškų motociklų ratų darbinių parametrų stebėjimo sistemų palyginimas atsižvelgiant į keliamas technines charakteristikas projektuojamai sistemai pateiktas 1 lentelėje.

Atlikus panašių sistemų apžvalgą, nustatyta, kad sistemos yra skirtingos. Temperatūros matavimo principas sistemose skiriasi KOSO Mini 4 naudoja infraraudonųjų spindulių jutiklį ir matuoja padangų paviršiaus temperatūrą, o *TireTraker TT-700* naudoja ant padangos ventilio užsukamus jutiklius, kurie matuoja padangos viduje esančią temperatūrą. Daugumą techninių charakteristikų ir funkcijų turi KOSO Mini 4 sistema. Ši sistema turi didesnius jutiklių darbinės temperatūros ir matuojamos temperatūros režius, bei yra universali ir gali būti pritaikyta daugumai sportinio tipo motociklų. Tačiau ši sistema turi tik vieną jutiklį, todėl tai neleidžia stebėti abiejų ratų parametrų.

1 lentelė

Panašių analoginių sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemų palyginimas pagal funkcijas ir technines charakteristikas

Panašių sistemų pavadinimai	KOSO Mini 4	TireTraker TT-700
Techninės charakteristikos ir funkcijos		
Padangų temperatūros nustatymo funkcija	+	+
Temperatūros jutiklio darbinė temperatūra nuo 0 °C iki 125 °C.	+	-
Temperatūros jutiklio matuojama temperatūra iki 150 °C.	+	-

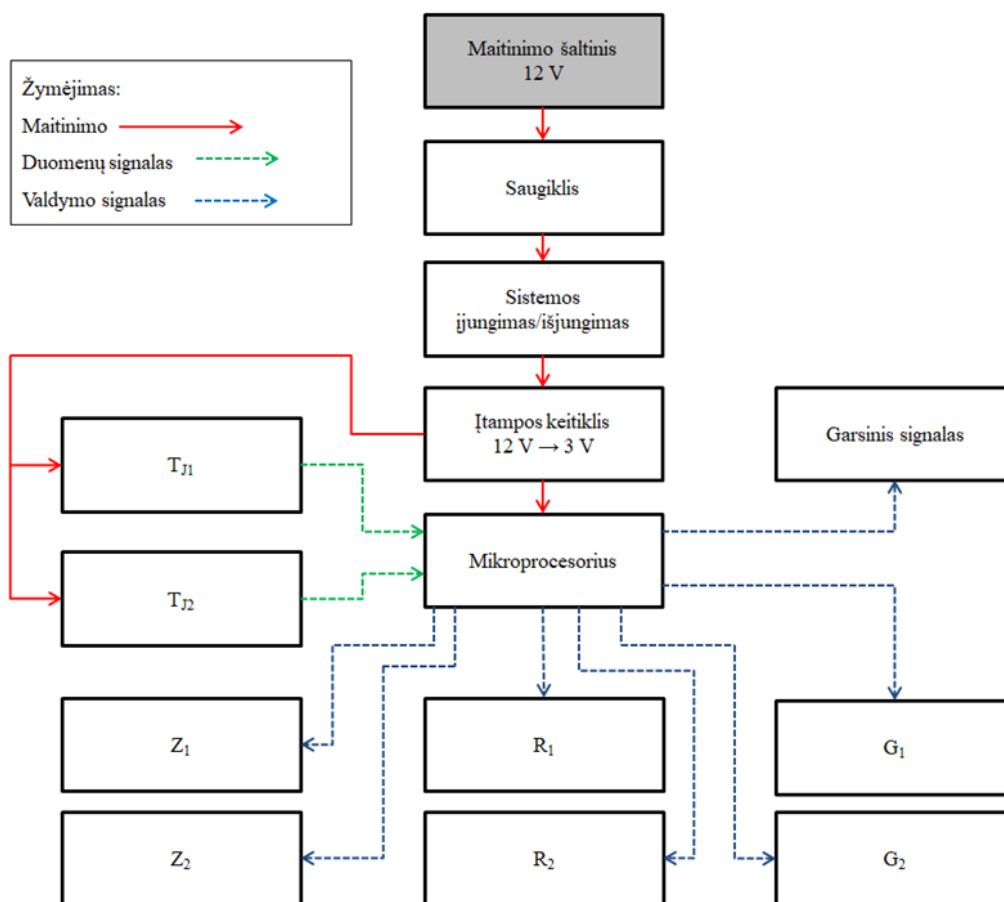
Panašių sistemų pavadinimai	KOSO Mini 4	TireTraker TT-700
Techninės charakteristikos ir funkcijos		
Maitinimo įtampa 12 V DC	+	+
Temperatūros jutiklių skaičius bent 2	-	+
Sistemos universalumas. Pritaikymas visiems sportinio tipo motociklams.	+	-
Sistemos įjungimas ir išjungimas	+	+
Masė iki 800 g.	+	+

Šaltinis: sudaryta autorių

Apžvelgus TireTraker TT-700 sistemą nustatyta, kad jutikliai turi žemesnius matuojamos ir darbinės temperatūros techninius duomenis. Taip pat sistemos vaizdinės indikacijos laikiklis nėra pritaikytas sportinio tipo motociklams, todėl tai padaro sistemą neuniversalią. Abidvi apžvelgtos sistemos turi panašumų: padangų temperatūros nustatymo funkciją, maitinimo įtampą, turi sistemos įjungimą ir išjungimą ir sveria iki 800 g.

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos projektavimas ir tyrimas

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos struktūrinė schema pateikiama 3 paveikslėlyje.



4 pav. Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos struktūrinė schema: **Z₁, Z₂** - žali LED indikatoriai, **R₁, R₂** - raudoni LED indikatoriai, **G₁, G₂** - geltoni LED indikatoriai, **T₁, T₂** – temperatūriniai jutikliai

Šaltinis: sudaryta autorių

Projektuojama sistema prasideda nuo maitinimo šaltinio. Šis elementas yra paryškintas, nes tai komponentas esantis motocikle, todėl jis nebus pridėtinis elementas sistemoje. Visi kiti komponentai bus papildomai pridedami ir veiks nepriklausomai nuo motociklo elektrinės instaliacijos. Schemoje komponentai T₁ ir T₂ yra temperatūriniai jutikliai, kurie matuos padangų temperatūrą. Indikatoriai Z₁, Z₂, tai žali indikatoriai, kurie informuos vairuotoją apie optimalią padangų temperatūrą, indikatoriai R₁, R₂, tai raudoni indikatoriai, kurie informuos vairuotoją apie per didelę padangų temperatūrą ir G₁, G₂ geltoni indikatoriai, kurie informuos apie per žemą padangų temperatūrą.

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemą sudaro:

Akumulatorius – motociklo 12 V DC maitinimo šaltinis.

Saugiklis – 0,25 A saugiklis, kuris apsaugos sistemos komponentus nuo per didelės srovės. Atsiradus didesnei nei 0,25 A srovei saugiklis suveiks ir pagrindiniai sistemos komponentai bus nepažeisti.

Jungiklis – 2 padėčių jungiklis, kuris atlaiko sistemai reikalingo maitinimo apkrovą 12 V ir 0,25 A.

Įtampos keitiklis – projektuojamoje sistemoje bus naudojamas LM317 įtampos keitiklis. Šis komponentas 12 V akumulatoriaus įtampą sumažins iki 3 V įtampos, kuri bus tinkama kitiems komponentams.

Temperatūros jutikliai – sistemoje bus naudojami MLX90614 infraraudonųjų spindulių temperatūros jutikliai, kurie per atstumą nustatys padangų temperatūrą. Šių jutiklių techniniai duomenys: jutiklio darbinė temperatūra -40 °C iki 125 °C, jutiklio matuojama temperatūra nuo -70 °C iki 380 °C, jutiklio tikslumas 0,5 °C. Jutiklio komunikacija I²C, kartu su 10 k Ω „pull up“ rezistoriais.

Mikrovaldiklis – sistemai valdyti bus naudojamas STM32VL mikrovaldiklis. Šis mikrovaldiklis turi reikalingą išvesties ir įvesties jungčių kiekį, taip pat yra pajėgus užmaitinti indikatorius ir garsinį signalą be papildomo maitinimo. Taip pat šis mikrovaldiklis turi I²C komunikacijos galimybę, per kurią komunikuos temperatūros jutikliai.

Indikatoriai skirti apie esamą temperatūrą pranešti vairuotojui:

- Žalios spalvos 2,2 V, 0,25 A, 5 mm skersmens LED šviesos diodas. Šis LED įsijungia, kai padangos temperatūra yra nuo 60 °C iki 100 °C.
- Raudonos spalvos 2,2 V, 0,25 A, 5 mm skersmens LED šviesos diodas. Šis LED įsijungia, kai padangos temperatūra yra nuo 100 °C.
- Geltonos spalvos 2,2 V, 0,25 A, 5 mm skersmens LED šviesos diodas. Šis LED įsijungia, kai padangos temperatūra yra iki 60 °C.

Garsinis signalas – signalas, kuris perspės vairuotoją esant kritiškai aukštai temperatūrai. Signalas techninės charakteristikos: darbinė įtampa nuo 3 iki 24 V DC, srovė 18 mA. Signalas suveiks, kai padangos temperatūra viršys 130 °C.

Elektrinės principinės schemos sudarymas. Sistemos elektrinės principinės schemos projektavimas buvo atliktas naudojantis „Circuitmaker“ programine įranga.

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos tyrimas. Aprašomas sportinio motociklo ratų sistemos šiluminis balansas, atsižvelgiant į padangos su keliu sąveikos pokyčius, kur įvertinama parametru kitimo laike dinamika, priklausanti nuo komponentų sąveikos ir išorinio poveikio. Tad temperatūros $\left(\frac{\partial T_W}{\partial t}\right)$ pokytis laiko atžvilgiu:

$$\frac{\partial T_W}{\partial t} = k_{W-E}(T_E - T_W) + k_{W-B}(T_B - T_W) + \sum k_{Ki}(T_{Ki} - T_W), \quad (1)$$

čia: k_{W-E} – šilumos perdavimo koeficientai tarp kelio ir rato, T_E – kelio paviršiaus temperatūra, T_W – ratų temperatūra, k_{W-B} – yra šilumos perdavimo koeficientas tarp rato ir aplinkos, T_B – aplinkos temperatūra, T_{Ki} – išoriniai veiksniai, darantys įtaką rato temperatūrai, k_{Ki} – šilumos šaltinio šilumos perdavimo koeficientas.

Tyrimo metu naudojamas temperatūros jutiklis MLX90614 matuoja objekto infraraudonąją spinduliuotės lygį ir konvertuoja jį į temperatūros vertę iš įtampos.

$$V_{OB} = k(E_{OB} - T_A), \quad (2)$$

kur: V_{OB} – įtampa, susidaranti iš infraraudonosios spinduliuotės matavimo metu, k – įtampos konvertavimo į temperatūrą koeficientas, E_{OB} – objekto spinduliuotė, T_A – aplinkos spinduliuotė.

Įtampos konvertavimas į temperatūrą:

$$T_{OB} = a \cdot V_{OB} + b, \quad (3)$$

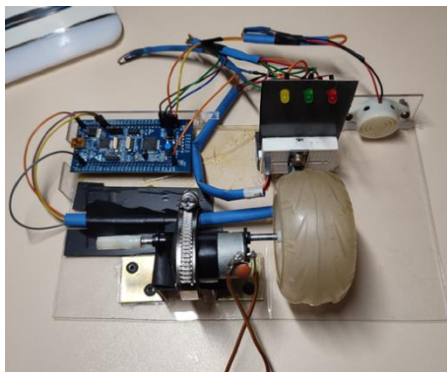
čia: T_{OB} – objekto temperatūra, a – yra įtampos konvertavimo į temperatūrą koeficientas, b – yra nuostolio faktorius.

Formulės (2) ir (3) atspindi MLX90614 jutiklio veikimo principą, kai matuojama objekto infraraudonosios spinduliuotės lygis ir konvertuojamas į temperatūrą.

Tolimesniems skaičiavimams reikalingi eksperimentiniai tyrimai, tam, kad nustatyti kintamuosius ir įvertinti jų įtaką tiriamai sistemai.

Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos maketas, testavimas ir derinimas realiomis sąlygomis. Matavimai skirtingose motociklo ratų padangos vietose gali suteikti įžvalgų apie jos veikimą, ypač esant įvairioms trasos sąlygoms arba skirtingoms vairuotojo veiksmų situacijoms. Kadangi sistema yra skirta motociklams, kurie gali būti eksploatuojami tik apie 5 mėnesius per metus esant palankiems orams.

Buvo surinktas sistemos maketas pavaizduotas 4 paveiksle, kuris leidžia sistemą pademonstruoti visus metus neatsižvelgiant į orų sąlygas.



5 pav. Sportinių motociklų ratų temperatūros stebėjimo sistemos maketas

Šaltinis: sudaryta autorių

Šis maketas suprojektuotas vieno rato temperatūros matavimo principu, kad esant nepalankiems orams galima būtų demonstruoti sistemos veikimo principą ir atlikti elementarius bandymus ir testavimus.

Motociklų sezonu metu ir esant palankiems orams pilna sistemos versija buvo sumontuota į motociklą ir išbandyta realiomis sąlygomis. Norėdami ištestuoti sistemą ir nustatyti tinkamus temperatūros režimus, pagal kuriuos bus sureguliuoti sistemos indikatoriai atlikome realius testus su motociklais. Norėdami pritaikyti sistemą atsižvelgiant į skirtingus motociklų tipus, skirtingas padangas ir trasas atlikome 2 bandymus su skirtingais motociklais, sportinio tipo, bet skirtingo gamintojo padangomis ir skirtingo pobūdžio trasose.

Bandymui atlikti pasirinkti keli matavimų scenarijai: T_{WbandA} - jutiklis pritvirtintas per centrą taip, kad matuojama būtų padangos vidurinė dalis, T_{WbandB} - jutiklis pritvirtintas arčiau padangos krašto atsižvelgiant į tai kokios pusės posūkių trasoje yra daugiau, mūsų atveju abiejuose trasose daugiau kairinių posūkių, todėl jutiklis pritvirtintas orientuotai į kairįjį padangos kraštą.

Matuojant temperatūrą skirtingose padangų taškuose (viduryje, kraštuose) gaunama informacija apie padangų veikimą skirtingose sąlygose, tai gali būti naudinga inžinieriams, sportininkams, vairuotojams siekiant optimizuoti motociklo elgesį trasoje ar kelyje. Suteikti informacijos apie vairavimo dinamiką, padangų slėgį, padangų sukibimą su kelio danga.

2 lentelė

Padangų temperatūrų matavimo rezultatai pirmojo bandymo trasoje metu

Bandymų skaičius, n	$t_{už}$, min	T_{apl} , °C	$T_{WbandA1}$, °C	$T_{WbandB1}$, °C
1	6,13	21	78,6	83,4
2	6,24	21	81,3	86,2
3	6,38	19	83,4	87,3
4	7,08	18	79,3	84,7
5	7,06	18	82,9	87,5
6	7,21	17	80,6	85,1

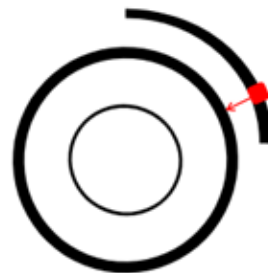
Šaltinis: sudaryta autorių

Pirmasis bandymas buvo atliktas 2023 metų liepos 27 dieną vykusiame „Grand Gazo Terapija“ renginyje. Šis renginys vyksta „Nemuno žiede“, todėl motociklo padangos buvo testuojamos realiomis trasos sąlygomis. Ši trasa yra 3350 m ilgio ir turi 10 kairinių posūkių, vidutinis motociklų greitis šioje trasoje apie 150 km/h. Oro sąlygos testo atlikimo metu: oro temperatūra nuo 17 °C iki 21 °C, santykinis oro drėgnis nuo 47 % iki 68 %, kritulių kiekis 0 mm. Tyrimui atlikti buvo naudojamas Yamaha FZ6 motociklas su sportinio tipo Pirelli Diablo Rosso II padangomis. Vieno bandymo metu trasoje buvo važiuojama 15 minučių, vidutiniškai nuvažiuojant po 12 ratų ir stebint vairuotojo laiką „Speedhive“ laiko fiksavimo programėlėje po greičiausio nuvažiuoto sesijos rato buvo užfiksuojama padangų temperatūra.

Pirmojo padangų temperatūros trasoje nustatymo bandymo rezultatai pateikti 2 lentelėje. Lentelėse pateikti duomenys: bandymų skaičius nurodo kiek kartų buvo atliktas bandymas, $t_{už}$ nurodo laiką kada buvo užfiksuotas greičiausias nuvažiuotas sesijos ratas, T_{apl} nurodo aplinkos temperatūrą bandymo atlikimo metu, T_{Wband} nurodo padangų temperatūrą su kuria buvo užfiksuotas greičiausias nuvažiuotas sesijos ratas.

a)

b)



5 pav. Po greičiausio rato sustojama užfiksuoti padangų temperatūrą pirmojo bandymo metu: a) sustojimas matavimui, b) temperatūrinio jutiklio įrengimo vieta ant motociklo galinio rato

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustatyta, kad motociklu nuvažiuotas vidutinis sesijos rato laikas yra $t_{už,vid} = 6,48$ min, o temperatūros $T_{WbandA1,vid} = 80,18$, °C ir $T_{WbandB1,vid} = 85,53$, °C. Kairio padangų krašto gauti temperatūriniai parametrai gali būti įtakojami intensyvių posūkių ir jų įveikimo. Tuo metu padangos patyrė didesnę krūvį, o tai lėmė aukštesnes nei padangos centre išmatuotas temperatūras. Oro temperatūra matavimo metu trasoje kito nuo 17 °C iki 21 °C, ir tai taip pat galėjo turėti įtakos bendrai padangų temperatūrų dinamikai. Pirmojo padangų temperatūros nustatymo bandymo trasoje akimirka pateikta 5 a) paveiksle. Jutiklio įrengimo vieta ant motociklo bandymų metu pademonstruota 5 b) paveiksle.

Antrasis bandymas buvo atliktas 2023 metų rugsėjo 18 dieną Aukštadvario kartodrome. Aplinkos sąlygos antrojo bandymo metu pavaizduotos 6 paveiksle.



6 pav. Aplinkos sąlygos antrojo bandymo metu

Šaltinis: sudaryta autorių

Aukštadvario kartodromas, tai trumpa 1050 m ilgio trasa turinti 14 posūkių (4 dešininiai ir 10 kairinių) ir yra tinkama motociklams ir kartingams, vidutinis motociklų greitis šioje trasoje 55 km/h. Oro sąlygos testo atlikimo metu: oro temperatūra nuo 19 °C iki 26 °C, santykinis oro drėgnis nuo 60 % iki 88 %, kritulių kiekis 0 mm. Tyrimui atlikti buvo naudojamas Suzuki Bandit 600 motociklas su sportinio tipo Michelin Pilot Power 2CT padangomis. Vieno bandymo metu trasoje buvo važiuojama 15 minučių, vidutiniškai nuvažiuojant po 13 ratų ir stebint vairuotojo laiką „Speedhive“ laiko fiksavimo programėleje po greičiausio nuvažiuoto sesijos rato buvo užfiksuojama padangų temperatūra. Šio antrojo bandymo padangų temperatūrų matavimo rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

Padangų temperatūrų matavimo rezultatai antrojo bandymo trasoje metu

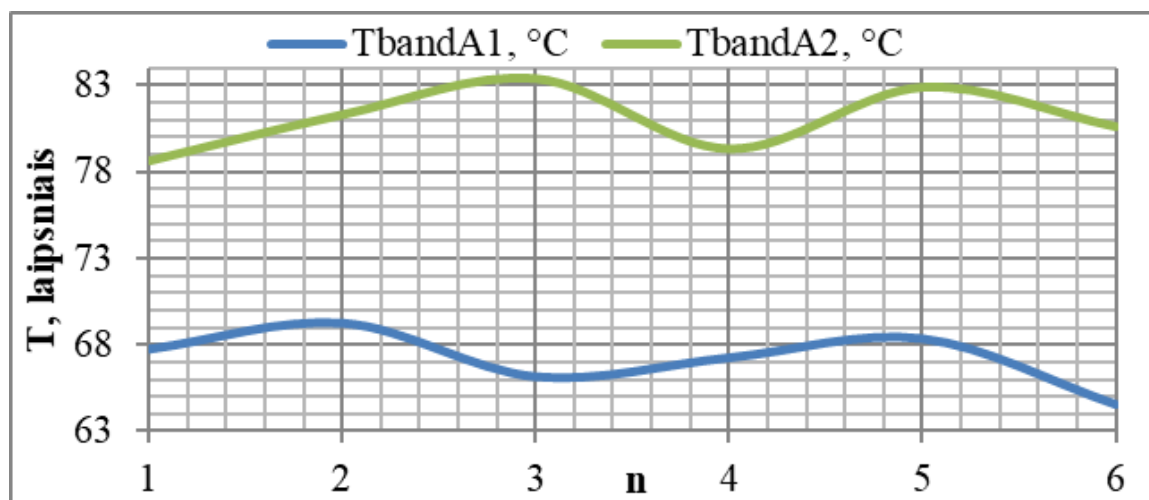
Bandymų skaičius, n	$t_{už}$, min	T_{apl} , °C	$T_{WbandA2}$, °C	$T_{WbandB2}$, °C
1	8,21	26	67,8	70,7
2	8,34	24	69,3	73,1
3	8,57	23	66,2	69,5
4	9,07	21	67,3	70,2
5	9,05	20	68,4	71,8
6	9,32	19	64,6	68,3

Šaltinis: sudaryta autorių

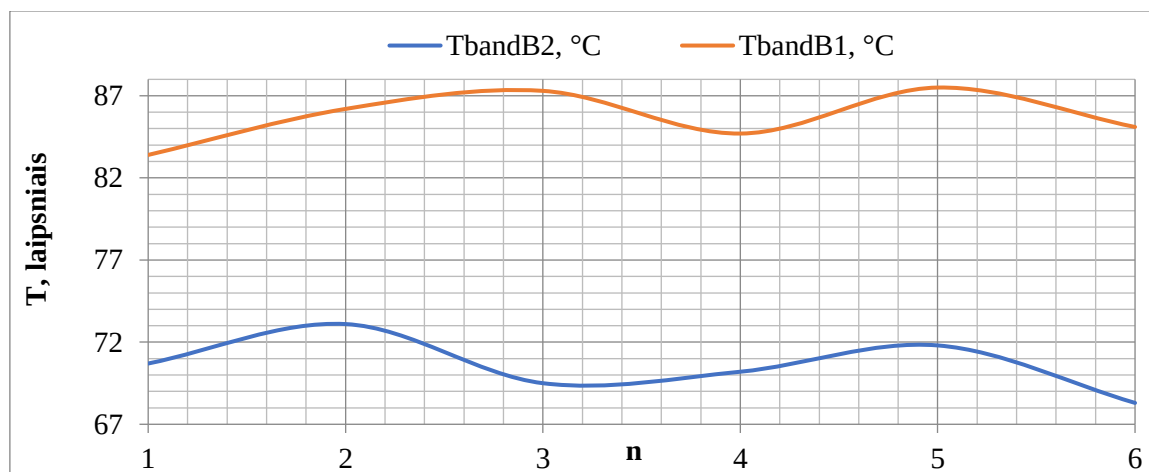
Oro sąlygos buvo šiek tiek kitokios nei pirmojo bandymo metu. Temperatūra svyravo nuo 19 °C iki 26 °C, santykinis oro drėgnis nuo 60 % iki 88 %. Šios sąlygos gali turėti įtakos padangų veikimui trasoje.

Nustatyta, kad Aukštadvario kartodrome motociklu nuvažiuotas vidutinis sesijos rato laikas yra $t_{už,vid} = 8,56$ min, o temperatūros $T_{WbandA2,vid} = 67,27$ °C ir $T_{WbandB1,vid} = 70,6$ °C. Oro temperatūra matavimo metu trasoje kito nuo 19 °C iki 26 °C, o vidutinė $T_{apl,vid} = 22,17$ °C.

a)



b)



7 pav. SMRTS stebėjimo sistemos bandymo rezultatai užfiksuoti: a) padangos centre, b) padangos krašte

Šaltinis: sudaryta autorių

Abiejų bandymų rezultatai užfiksuoti padangos vidurinėje dalyje grafinėje formoje parodyti 7 a) paveikslėlyje, o abiejų bandymų rezultatai užfiksuoti padangos kairiajame krašte pateikti 7 b) paveikslėlyje.

Abiejų bandymų rezultatai palyginti ir nustatyta, kad padangos efektyviai atlieka savo funkcijas 60-100 °C temperatūros režimuose. Taip pat atsiskleidžia ryškus skirtumas tarp greitos ir lėtos trastos temperatūrų skirtumo. Lėtoje trasoje vidutinė padangų temperatūra buvo 68,94 °C, o greitoje 82,86 °C. Didžiausia temperatūra greitoje trasoje buvo užfiksuota 87,3 °C, o lėtoje 73,1 °C. Žemiausia temperatūra greitoje trasoje buvo užfiksuota 78,6 °C, o lėtoje 64,6 °C. Taip pat iš rezultatų pateiktų 2 ir 3 lentelėse pastebėta, kad aplinkos temperatūra įtakoja padangų darbinės temperatūros pasiekimo laiką, kadangi vėstant aplinkos temperatūrai

reikėjo daugiau laiko, kad vairuotojas užfiksotų greičiausią ratą. Taip pat nustatyta, kad padangos kraštas atsižvelgiant į tai kokios pusės posūkių trasoje yra daugiau, šyla labiau negu centrinė padangos dalis. Taip yra todėl nes posvyrio kampe motociklas ir jo padangos yra veikiamos didesnėmis jėgomis. Atsižvelgiant į šio grafiko režius buvo pakoreguoti optimalios temperatūros LED indikacijos režiai, kurie po bandymo buvo nustatyti nuo 60 °C iki 100 °C, kadangi padangos yra efektingos tokiuose režiuose.

Atlikti tyrimai parodė, kad kairės pusės padangos šonas buvo veikiamos intensyvių jėgų, nes temperatūra buvo aukštesnė nei viduryje. Aukštadvario kartodromas yra lėtesnė trasa, tai atspindi ir sesijos rato laikas ir mažesnės vidutinės temperatūros, nors vidutinė lauko temperatūra aukštesnė. Temperatūrų skirtumai parodė, kad Nemuno žiedas, su didesniu greičiu ir intensyviais posūkiais, gali sukelti didesnes temperatūras padangose. Tai gali būti dėl didesnio padangų sukibimo su kelio paviršiumi, didesnio greičio ir padangos deformacijos intensyvumo.

Išvados

1. Atlikus panašių sistemų apžvalgą, palygintos *TireTraker TT-700* ir *KOSO Mini 4 SMRTS* stebėjimo sistemos nustatyta, kad sistemos yra skirtingos ir skiriasi viena nuo kitos savo temperatūros matavimo principu ir techninėmis charakteristikomis. *KOSO Mini 4* turi tik vieną temperatūrinį jutiklį, o *TireTraker TT-700* - neuniversali. Sudaryta SMRTS sistemos struktūrinė schema ir išanalizuotas sistemos komponentų išsidėstymas sistemoje. Nustatyta, kad mikroprocesorius gaus informaciją iš infraraudonųjų spindulių temperatūros jutiklį MLX90614 ir apdorojęs šią informaciją uždegs reikalingą vaizdinę indikaciją arba garsinį signalą. Apžvelgus komponentų technines charakteristikas ir jų veikimo principus, pagamintas veikiantis SMRTS sistemos įrenginys.

2. Sistemos bandymo realiomis sąlygomis metu nustatyta padangų temperatūra dviejuose trasose, taip pat patikslinti temperatūros režiai ir pagal juos sistema uždega LED optimalios temperatūros indikaciją. Įsitikinta, kad sistema yra veiksminga įvairaus tipo trasose. Taip pat įsitikinta, kad sistema veikia sklandžiai nepriklausomai nuo motociklo ir padangų modelio. Abiejų bandymų rezultatai palyginti ir nustatyta, kad padangos efektyviai atlieka savo funkcijas 60-100 °C temperatūros režiuose. Taip pat atsiskleidžia ryškus skirtumas tarp greitos ir lėtos trasos temperatūrų skirtumo. Lėtoje trasoje vidutinė padangų temperatūra buvo 68,94 °C, o greitoje 82,86 °C. Didžiausia temperatūra greitoje trasoje buvo užfiksuota 87,3 °C, o lėtoje 73,1 °C. Žemiausia temperatūra greitoje trasoje buvo užfiksuota 78,6 °C, o lėtoje 64,6 °C. Aplinkos temperatūra taip pat įtakojo padangų darbinės temperatūros susidarymo laiką, kadangi vėstant aplinkos temperatūrai reikėjo daugiau laiko, kad vairuotojas užfiksotų greičiausią ratą. Taip pat nustatyta, kad padangos kraštas atsižvelgiant į tai kokios pusės posūkių trasoje yra daugiau, šyla labiau negu centrinė padangos dalis. Taip yra todėl, trasos posūkyje, kai motociklas yra pasviręs, jo padangos yra veikiamos didesnėmis jėgomis. Atsižvelgiant į gautus rezultatus buvo pakoreguoti optimalios temperatūros LED indikacijos režiai, kurie po bandymo buvo nustatyti nuo 60 °C iki 100 °C, kadangi padangos yra efektingiausios tokiuose režiuose.

Literatūra

1. Bedolla J., Santelli J., Sabra J., Cabanas G. J., Ziebell C., Olvey S. Elite Motorcycle Racing: Crash Types and Injury Patterns in the MotoGP Class, *The American Journal of Emergency Medicine*, 2016. DOI: 10.1016/j.ajem.2016.07.005.
2. Farroni F., Mancinelli N., Timpone F., A Real-Time Thermal Model for the Analysis of Tire/Road Interaction in Motorcycle Applications, Dipartimento di Ingegneria Industriale–Università degli Studi di Napoli Federico II, 2020. [žiūrėta 2023-10-25]. Prieiga internetu: <https://www.megaride.eu/wp-content/uploads/2021/03/Termico-Motorcycle-published.pdf>.
3. Farroni F., Sakhnevych A., Timpone F. Physical modelling of tire wear for the analysis of the influence of thermal and frictional effects on vehicle performance, *J Materials: Design and Applications*, 2017. DOI:10.1177/1464420716666107.
4. Hugelius K., Lidberg J., Ekh L., Örtengren P. Vital and Clinical Signs Gathered Within the First Minutes After a Motorcycle Accident on a Racetrack: an Observational Study. *Sports Medicine – Open* 7, article number: 59, 2021. [žiūrėta 2023-11-04]. Prieiga internetu: <https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-021-00350-6>.
5. Lot R. A Motorcycle Tire Model for Dynamic Simulations: Theoretical and Experimental Aspects, *Meccanica* 2004, 39(3):207-220. DOI:10.1023/B:MECC.0000022842.12077.5c.
6. MINI 4 IFR Infrared tire temperature meter with sensor, Koso Europe, Model Number: BA033050. [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga internetu: <https://www.kosoeurope.com/en/products/mini-meter/mini-4/infrared-temperature/2378/mini-4-ifr-infrared-tire-temperature-meter-with-sensor>.
7. MINI 4 IFR instructions wh033ba26g, Koso North America. [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga internetu: https://kasonorthamerica.com/wp-content/uploads/2020/03/wh033ba26g-Mini4-IFR-meter_CORRECTED.pdf.

8. Motorcycle Tyres: Sizes, Markings and Construction, OPONEO.CO.UK, 2021. [žiūrėta 2023-11-12]. Prieiga internetu: <https://www.oponeo.co.uk/blog/motorcycle-tyres-sizes-markings-and-construction>.
9. Sharp R. S., Gruber P., Fina E. Circuit racing, track texture, temperature and rubber friction, Vehicle System Dynamics, 2016, 54:4, 510-525. DOI: 10.1080/00423114.2015.1131308.
10. TireTraker™ TT-700, Product ID: TT700, TireTraker™ TPMS. [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga internetu: <https://www.tiretraker.com/proddetail.php?prod=TT700>.
11. TireTraker™ TT-700. Motorcycle System manual, TireTraker™ TPMS. [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga internetu: https://www.tiretraker.com/700_manual.pdf.

STUDY OF TEMPERATURES OF SPORTS MOTORCYCLE TYRES AT NEMUNAS RING AND AUKŠTADVARIO KARTODROME TRACKS

Summary

System for monitoring the temperature of sport motorcycle wheels is designed to reduce a risk of a crash during races. By monitoring your motorcycle tyres temperature and informing driver with this information system gives you advantage of knowing how much grip you should expect from tyres and reduces risk of crashes with cold tyres. This system should have these functions and characteristics: tyre temperature monitoring function, sensor capable working temperature at least from 0 °C to 125 °C, object measurement temperature at least up to 150 °C, supply voltage 12 V DC, number of temperature sensors at least 2, also system should have on and off function. This system should be universal and compatible with all sport class motorcycles. After designing structural and wiring diagrams and choosing suitable components for our requirements we designed a model of system for monitoring the temperature of sport motorcycle tyres. Then motorcycle season came system was fitted to a real motorcycle and tests in the racetracks there carried out. During tests we made sure that system works smoothly in different type of tracks, with different motorcycles and tyres. After all the tests we made conclusions in which temperatures ranges motorcycles tyres works best.

Key words: motorcycle, safety, tyres, temperature sensor, tyre temperature, grip.

**TRANSPORTO IR MECHANIKOS INŽINERIJOS INOVACIJOS MOKSLE IR
PRAMONĖJE**

AERODINAMIKOS KOMPONENTŲ FUNKCIONAVIMO VERTINIMAS SPORTINIUOSE AUTOMOBILIUOSE

Matas Kupčiūnas, Marius Mažeika
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šio tyrimo tikslas yra įvertinti aerodinamikos komponentų skirtumus ir medžiagų efektyvumą tarp paprasto automobilio, skirto važinėjimui mieste, ir sportinio. Straipsnyje analizuojami sparno ir aptako skirtumai, veikimo principai ir naudojimo priežastys, įvertinami medžiagų skirtumai, naudojimo priežastys, naudojimo skirtumai paprastuose ir sportiniuose automobiliuose. Aerodinaminės jėgos sąveikauja su automobiliu, sukelia pasipriešinimą, kėlimą, šonines jėgas ir triukšmą. Tai turi įtakos automobilio saugumui, našumui, komfortui, valdymui ir degalų taupumui.

Reikšminiai žodžiai: aptakas, sparnas, automobilio aerodinamika, sportinis automobilis.

Įvadas

Aerodinamikos komponentai šiuolaikiniuose automobiliuose yra svarbūs kaip ir važiuoklė, variklis, transmisija, kad automobilis veiktų kuo stabiliau, tyliau, sklandžiau ir efektyviau. Naujausi automobiliai atena su efektyviausiais varikliais, ištobulintais per kelis dešimtmečius, su važiuoklėmis, kurios ne tik suteikia stabilumą, bet ir komfortą, su transmisija, paduodančia kuo tikslesnį ir patogiausią sukimo momentą ratams. Todėl aerodinamika belieka vienintelė kryptis, kur šiandienos automobilių gamintojams reikia atkreipti dėmesį, jei nori pagerinti automobilio, važiuojančio keliu, savybes (Islam, 2022). Apie aerodinamiką jau daug žinoma, bet tikrai dar ne visos idėjos ir veikimo principai yra atrasti ir ištobulinti. Sportiniai automobiliai yra viena iš sričių, kur naudojama daug aerodinamikos komponentų, bet šitie komponentai turi problemą, kad daug jų yra nevertingi paprastam automobiliui, kuris naudojamas važinėti mieste ar užmiestyje. Vienintelis išsiskiriantis komponentas yra aptakas ir panašų veikimo principą turintis galinis sparnas. Abu galima rasti ant sportinių ir nesportinių automobilių, vieninteliai jų skirtumai yra dėl kokių priežasčių buvo uždėti ir iš kokių medžiagų pagaminti.

Tyrimo tikslas: įvertinti aerodinamikos komponentų funkcionavimą sportiniuose automobiliuose.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti skirtingų aerodinamikos komponentų analizę ir nustatyti jų skirtumus.
2. Išanalizuoti medžiagas, naudojamas aerodinamikos komponentams gaminti.
3. Nustatyti aerodinamikos komponentų įtaką lenktynių traseje.

Metodai:

- Analizės metodu atlikta sparnų ir aptakų lyginamoji analizė ir jų gamybos medžiagų apžvalga.
- Antrinės duomenų analizės metodu ištirta aerodinamikos komponentų įtaka trasos įveikimo laikui.

Aerodinaminių komponentų analizė

Aerodinaminės jėgos sąveikauja su automobiliu, sukelia pasipriešinimą, kėlimą, šonines jėgas ir triukšmą. Tai turi įtakos automobilio saugumui, našumui, komfortui, valdymui ir degalų taupymui. Didžioji viso pasipriešinimo dalis, apie 60 %, susidaro galinėje automobilio dalyje. Todėl staigus oro automobilio gale praradimas sukelia didelius sukurius. Dėl šių sukurių automobilio galinėje dalyje yra didelis slėgio kritimas, kuris sukuria didesnę slėgio pasipriešinimą. Tuo tarpu didėja kėlimo jėga, kuri atpalaiduoja sukibimą tarp padangų ir žemės, o tai turi įtakos sukibimo savybėms ir valdymo stabilumui. Siekiant pagerinti šią būklę, pačiame projektavimo etape naudojami įvairūs mechanizmai. Lengvajam automobiliui reikalingos prispaudimo jėgos nepakanka iš aerodinaminių automobilio komponentų, todėl automobilio valdymas nėra stabilus. Pridėjus kėbului pagalbinių aerodinamikos komponentų, kėlimo galia ir aerodinaminis pasipriešinimas gali būti sumažinti bei išgaunamas didesnis stabilumas. Galinis aptakas ir galinis sparnas yra pagrindinės aerodinamikos pagalbinės priemonės, kurios turi įtakos kėlimui ir pasipriešinimui. Nors atrodo, kad šie du komponentai yra panašūs, dizaino filosofija skiriasi viena nuo kitos, taigi skiriasi ir automobilio efektyvumas bei našumas. Vėjo tunelio eksperimentais ir sparčiu kompiuterių vystymu buvo daug skirta pastangų transporto priemonių aerodinamikai tirti, atliekant skaičiavimo analizę (CFD). Šis tyrimas pateikia vėjo srauto aplink automobilį modeliavimą trimis skirtingoms konfigūracijoms:

įprasto lengvojo automobilio CFD analizė (1 konfigūracija), lengvojo automobilio su galiniu aptaku CFD analizė (2 konfigūracija) ir lengvojo automobilio su galiniu sparnu CFD analizė (3 konfigūracija).



1 pav. Įprasto lengvojo automobilio CFD analizė (1 konfigūracija)

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221> >



2 pav. Lengvojo automobilio su galiniu aptaku CFD analizė (2 konfigūracija)

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221> >

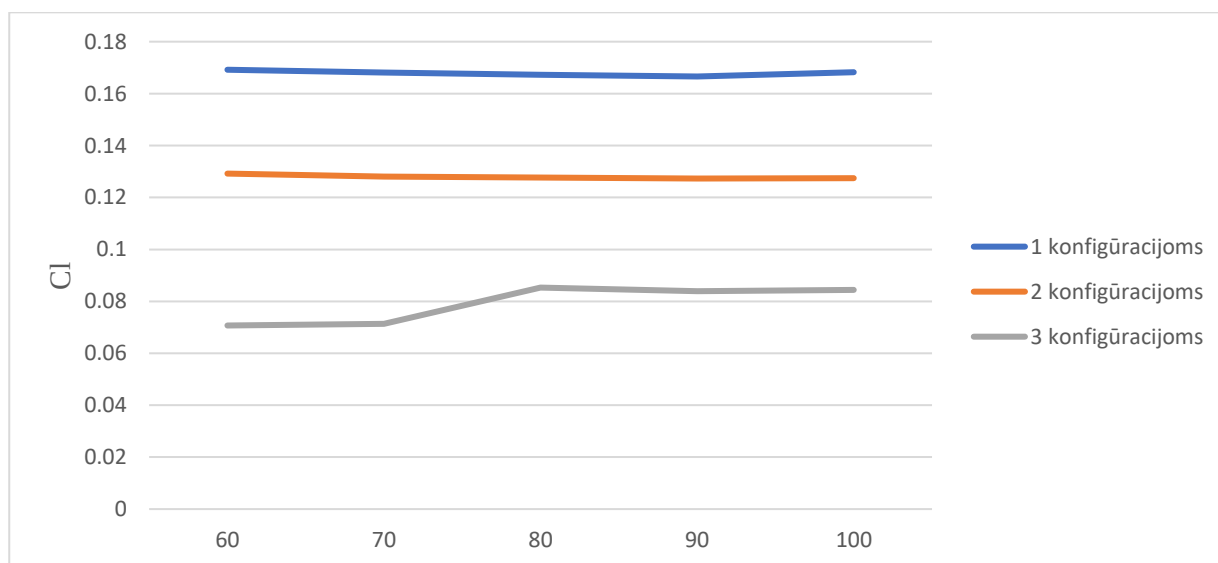


3 pav. Lengvojo automobilio su galiniu sparnu CFD analizė (3 konfigūracija)

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221> >

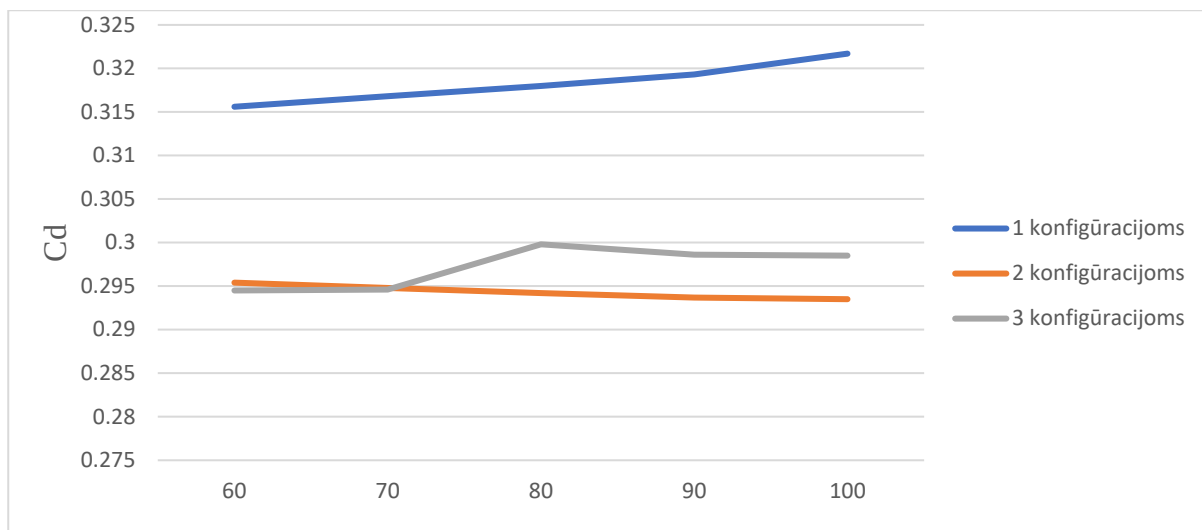
Simuliacijos rezultatai

Kiekvienas simuliacija buvo atlikta 5000 kartų, keičiant greitį nuo 60, 70, 80, 90 iki 100 km/h. Diagramose yra pateiktas pakėlimo koeficientas (Cl) (4 pav.) ir pasipriešinimo koeficientas (5 pav.).



4 pav. Pakėlimo koeficientas (Cl)

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221> >



5 pav. Pasipriešinimo koeficientas (Cd)

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221>>

Galima pastebėti, kad automobilio Cl be jokių aerodinaminių pagalbinių priemonių (1 konfigūracija) išlieka pastovus su nedideliais svyravimais greičių diapazone, o Cd šiek tiek didėja didėjant greičiui. Automobilio su aptaku (2 konfigūracija) Cl ir Cd paprastai būna pastovūs su nedideliais svyravimais. Iš pateiktų grafikų galima pastebėti, kad automobilio su sparnu (3 konfigūracija) Cl ir Cd gerokai padidėja nuo 70 km/h iki 80 km/h greityje. Pagal Cl schemą (4 pav), kai greičių diapazonas nuo 60 km/h iki 100 km/h, tiek automobiliai su aptaku, tiek su sparnu pasižymi mažesniu pakėlimu, lyginant su įprasto automobilio kėbulu.

2 lentelė

Kėlimo mažinimas

Greitis(km/h)	Kėlimo sumažinimas naudojant aptaką	Kėlimo sumažinimas naudojant sparną
60	24%	58%
70	24%	58%
80	24%	49%
90	24%	50%
100	24%	50%

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <<https://www.researchgate.net/publication/339927221>>

3 lentelė

Greitis(km/h)	Pasipriešinimo sumažinimas naudojant aptaką	Pasipriešinimo sumažinimas naudojant sparną
60	6%	7%
70	7%	7%
80	7%	6%
90	8%	6%
100	9%	7%

Pasipriešinimo mažinimas

Šaltinis: Rajapaksha R. G. S. K., et al. *Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles* (2018). Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/339927221>

Pasipriešinimas prieš greitį tyrimas

Remiantis 2 lentelėje pateiktais duomenimis, aptakas nuolat sumažina kėlimą 24 % važiuojant įvairiais greičiais, o sparnas žymiai daugiau – 58 % – nuo 60 km/h iki 70 km/h ir maždaug 50 % – nuo 80 km/h iki 100 km/h. Vidutinis pakėlimo sumažėjimas, naudojant sparną, yra apie 54%, o tai yra didesnis sumažėjimas, palyginti su automobiliu su aptaku. Šis didesnis sumažinimas atsiranda dėl sparno formos. Apverstos sparno formos pakėlimas yra apverstas, todėl sumažėja bendras automobilio pakėlimas. Panašiai kaip pakėlimo koeficientas, sparno ir aptako pasipriešinimo koeficientas yra mažesnis nei įprasto kėbulo. Pagal 2 lentelės duomenis, didėjant greičiui, laipsniškai mažės pasipriešinimas įrengiant aptaką, o sparnas siūlo nedidelius greičio svyravimus. Vidutinis aptakas sukuria 8%, o sparnas - 7% sumažina pasipriešinimą įprasto

automobilio kėbului. Pridėjus sparną arba aptaką į įprastą automobilio kėbulą, sumažėja ir keliamoji jėga, ir pasipriešinimas (Islam, 2022). Atsižvelgiant į kėlimo ir pasipriešinimo veiksnius kartu, sparnas užtikrina didesnę optimizavimą, palyginti su aptaku.

Aerodinamikos komponentų medžiagų savybių analizė

Stiklo pluošto savybių analizė. Stiklo pluoštas yra kompozicinė medžiaga, pagaminta iš smulkių stiklo pluoštų, įterptų į dervos matricą. Dėl savo mechaninių savybių ir universalumo jis plačiai naudojamas automobilių pramonėje. Stiklo pluoštas pasižymi geresniu stiprumu ir standumu, palyginti su tradicinėmis medžiagomis, tokiomis kaip plienas. Tačiau vienas trūkumas yra tas, kad stiklo pluošto automobilių kėbulai gali būti sunkesni nei plieniniai siekiant tokio paties standumo. Jis dažniausiai naudojamas automobilių inžinerijoje, siekiant padidinti mechaninių kompozicinių medžiagų apimtį automobiliuose (Pelsue, 2023).

Poliuretano savybių analizė. Poliuretanai (PU) yra universalūs polimerai, kurių galima įvairiai pritaikyti automobilių pramonėje. Pavyzdžiui, PU putos padeda sumažinti triukšmą, pagerina saugumą, mažina svorį ir padidina komfortą transporto priemonėse. Jo savybės yra vidutinis tankis, gniuždymo stiprumas, uždarytų ląstelių turinys ir terminis stabilumas. Pasaulinė automobilių pramonėje naudojamų poliuretano putų rinka yra didelė. PU putos buvo plačiai naudojamos automobilių gamyboje dėl savo lengvumo ir amortizacinių savybių (Zouch, 2018).

ABS plastiko savybių analizė. ABS (akrilnitrilo butadieno stireno) plastikas dažniausiai naudojamas automobilių pramonėje kaip metalinių dalių pakaitalas. Jis žinomas dėl savo tvirtumo, atsparumo smūgiams ir ilgaamžiškumo. ABS plastikas lengvai nelūžta, todėl tinka įvairiems automobiliams. Automobilių dengimo plastikui ABS rinka pastebimai išaugo. Dėl savo savybių, tokių kaip cheminis ir terminis stabilumas, kietumas ir stiprumas, jis yra populiarus pasirinkimas automobilių gamyboje (Protolabs, 2023).

Anglies pluošto savybių analizė. Anglies pluoštas yra lengva ir labai stipri medžiaga, naudojama automobilių pramonėje. Jis pasižymi išskirtiniu specifiniu standumu, specifiniu stiprumu ir nuovargiu, palyginti su įprastai naudojamais metalais. Anglies pluošto kompozitai naudojami siekiant pagerinti transporto priemonių atsparumą susidūrimams ir pagerinti jų veikimą. Tačiau anglies pluoštas nėra plačiai naudojamas automobiliuose dėl didesnės kainos, palyginti su kitomis medžiagomis. Jis dažniausiai randamas sportiniuose automobiliuose, kur stiprumas ir svorio mažinimas yra labai svarbūs (Countervail, 2019).

Medžiagų aerodinaminiamis komponentams gaminti parinkimo apžvalga

Šios medžiagos atlieka svarbų vaidmenį automobilių pramonėje, kiekviena turi savo privalumų ir trūkumų. Jų savybių ir pritaikymo supratimas gali padėti įvertinti jų naudojimą automobiliuose, ypač kai reikia pasirinkti, kokią medžiagą naudoti sparnui arba aptakui. Visą laiką reikia įvertinti aerodinamikos komponentų paskirtį: jei truputį sumažinti pasipriešinimą ant automobilio, kuris nėra skirtas žiedinėms varžyboms, neverta investuoti į aukštos kokybės medžiagą, nes dažniausiai pigesnis variantas bus tiek pat efektyvus. Jei automobilis turi gauti daugiau stabilumo lekiant virš 200 km/h, tada jau svarbus veiksnys, kiek medžiaga atspari veikiamoms jėgoms. Tada verta investuoti į aukštos kokybės medžiagas, pvz. anglies pluoštą.

Aerodinamikos komponentų palyginimas ir jų efekto trasoje analizė

Įvertinus pateiktą informaciją, galima palyginti, kaip aerodinamika paveikia žiedo įveikimo laikus Nürburgring Nordschleife trasoje su Porsche markės automobiliais 911 GT3 ir 911 GT3 RS. Visi laikai matuoti nemodifikuotose automobiliuose ir ant sausos trasos. Šie automobiliai pasirinkti dėl to, kad automobiliai turi mažiausią variklių galios skirtumą, kad būtų galima palyginti, kiek aerodinamiką paveikia laikus. Be to, pats Porsche koncernas yra paskelbęs, kad automobilių trasos įveikimo laikai skiriasi priklausomai nuo automobilių aerodinamikos.

Lentelėje 4 galima matyti automobilius charakteristikas prieš ir po jų atnaujinimo. Jų didžiausias greitis yra panašus, 0-100 km/h įsibėgėjimas ir variklių galia yra panašūs. Belieka tik lyginti jų prispaudžiamąją jėgą, kuri visų yra skirtinga. Kuo automobilis naujesnis, tuo jis turi daugiau prispaudžiamosios jėgos esant 200 ir 300 km/h greičiui.

4 lentelė

Porsche automobilių charakteristikos

	PORSCHE 911 GT3 RS (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 RS (991)	PORSCHE 911 GT3 (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 (991)
Didžiausias greitis	312 km/h	311 km/h	320 km/h	315 km/h
0 - 100 mph	10,4 s	10.7 s	10.9 s	10.9 s
Įvert. maksimalus pagreitis	0,90 g (9 m/s ²)	0.90 g (9 m/s ²)	0.89 g (9 m/s ²)	0.91 g

	PORSCHE 911 GT3 RS (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 RS (991)	PORSCHE 911 GT3 (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 (991)
Prispaudžiamoji jėga esant 200 km/h	200 kg	144 kg	69 kg	47 kg
Prispaudimo jėga esant 300 km/h	450 kg	350 kg	155 kg	130 kg
Variklis	4.0 l (520 AG 469 Nm)	4.0 l (500 AG 458 Nm)	4.0 l (476 AG 460 Nm)	3,8 l Galia (476 AG 440 Nm)
Žiedo įveikimo laikas	6:49.3 min	7:20.0 min	7:10.9 min	7:25.0 min

Šaltinis: sudaryta autorių pagal PORSCHE 911 GT3 ir GT3 RS dokumentaciją, Prieiga per internetą: <fastestlaps.com>

Analizuojant 5 lentelės duomenis pastebima, kad didesnė prispaudžiamoji jėga neduoda geresnio laiko rezultato, todėl 911 GT3 RS turi blogesnį laiką nei 911 GT3 (Facelift). Priėmus Porsche 911 GT3 kaip atskaitos tašką, gaunami duomenys pateikti 5 lentelėje. Analizuojamuose duomenyse matyti, kad GT3 (Facelift), kuris turi mažesnę sparną ir labiau aptako efektą, yra greitesnis nei GT3 RS versija, kuri turi didesnę prispaudžiamąją jėgą. Išanalizavus duomenis galima teigti, kad didesnė prispaudžiamoji jėga nesumažina laiko trasai įveikti.

5 lentelė

PORSCHE automobilių palyginimas

	PORSCHE 911 GT3 RS (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 RS (991)	PORSCHE 911 GT3 (991 facelift)	PORSCHE 911 GT3 (991)
Prispaudžiamosios jėgos padidėjimas esant 200 km/h	325.53 %	206.38 %	46.80%	-
Prispaudžiamosios jėgos padidėjimas esant 300 km/h	246.15 %	169.23 %	19.23 %	-
Žiedo įveikimo laiko sumažėjimas	-8.09 %	-1.12 %	-3.37 %	-

Šaltinis: sudaryta autorių

Aerodinaminių komponentų parinkimo trasai analizė

Ar verta naudotis tik aptaką, kad būtų pagerintas žiedinės trasos įveikimo laikas? Atsakymas - ne. Pagal duomenis greičiausias laikas buvo pas RS versiją, kuris turi didelę sparną. Tačiau pagal trasos ypatybes spaudžiamosios jėgos sumažinimas gali padėti užfiksuoti geresnius laiko rezultatus ir, priklausomai nuo automobilio, tai gali būti puiki alternatyva.

Išvados

1. Įvertinus aerodinamikos komponentų skirtumus tarp aptako ir sparno nustatyta, kad panašumai yra tik vizualūs, nes abu komponentai suteikia skirtingus rezultatus skirtingose situacijose.
2. Išanalizavus galimas panaudoti medžiagas galima teigti, kad anglies pluoštas yra patikimiausias pasirinkimas, tačiau jis yra vienas iš brangiausių variantų. Dažniais atvejais yra tinkamos ir kitos analizuotos medžiagos, tik tam pačiam rezultatui gauti prisidės papildoma masė.
3. Analizuotų aerodinaminių komponentų parinkimas labai priklauso nuo trasos charakteristikų ir automobilio galimybių. Vienareikšmiškai teigti, kad sparnas geriau už aptaką, negalima, ir atvirkščiai.

Literatūra

1. Countervail, Benefits Of Carbon Fiber In Automotive Manufacturing 2019 2022 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://countervailproducts.com/insights/blog/benefits-of-carbon-fiber-in-automotive-manufacturing>.
2. Fastestlaps, Porsche 911 GT3 (991 facelift) specs, 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://fastestlaps.com/models/porsche-911-gt3-991-facelift>
3. Fastestlaps, Porsche 911 GT3 (991) specs, 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://fastestlaps.com/models/porsche-911-gt3-991>
4. Fastestlaps, Porsche 911 GT3 RS (991 facelift) specs, 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://fastestlaps.com/models/porsche-911-gt3-rs-991-facelift>
5. Fastestlaps, Porsche 911 GT3 RS (991) specs, 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://fastestlaps.com/models/porsche-911-gt3-rs->
6. Islam Md., M*, Ilias M Numerical Investigation of the effect of different Aerofoil profile of a spoiler in a car, International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering 2022 22-24 December, 2022, Khulna, BANGLADESH 2022 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.researchgate.net/publication/370818627>

7. Luthfie, A., A., Romahadi, D., Ghufro, H., Murtyas S., D., Numerical simulation on rear spoiler angle of mini mpv car for conducting stability and safety Sinergi, Vol 24, No 1 (2020) 2020 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/5833> -
8. Pelsue, Fiberglass Bodies: 7 Benefits to Using Fiberglass, 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.pelsue.com/fiber-splicing/blog/Fiberglass-Bodies>
9. Protolabs, ABS Plastic: Understand the Key Benefits and Applications 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.protolabs.com/materials/abs/>
10. Rajapaksha R. G. S. K., Kurukulasooriya K. D. P. C., Herath H. M. T. M., Rangajeeva S. L. M. D., Bandara R. M. P. S. Aerodynamic Analysis of Rear Wings and Rear Spoilers of Passenger Automobiles 2018 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] https://www.researchgate.net/publication/339927221_Aerodynamic_Analysis_of_Rear_Wings_and_Rear_Spoilers_of_Passenger_Automobiles -
11. Zouch, The Benefits of Using Polyurethane Foam in the Automotive Industry, 2018 interaktyvus, [žiūrėta 2023.11.28] <https://zouchconverters.co.uk/news/2018/the-benefits-of-using-polyurethane-foam-in-the-automotive-industry>

EVALUATION OF AERODYNAMIC COMPONENT FUNCTIONING IN SPORTS CARS

Summary

The aim of the research is to evaluate the differences in aerodynamics components and the efficiency of materials between a simple passenger car and a sports car. The differences between a wing and a spoiler, the principles of operation and the reasons for their use are analysed, the differences in materials, the reasons for their use, and the differences in their use in passenger cars and sports cars are evaluated. Aerodynamic forces interact with the car causing drag, lift, side forces and noise. This will affect the car's safety, performance, comfort, handling and fuel economy.

Key words: spoiler, wing, automobile aerodynamics, sports car.

LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ KIEKYBINĖ GEDIMŲ ANALIZĖ

Tomas Mickevičius, Donatas Martišius

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateiktas tos pačios markės modelio automobilių patikimumo tyrimas. Mašina eksploataciniu atžvilgiu patikima, kol ji darbinga. Darbingumas tai mašinos arba jos elementų būklė, kai ji gali atlikti savo funkcijas. Visiškas arba dalinis darbingumo netekimas vadinamas gedimu. Šio darbo tikslas buvo įvertinti lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) pagrindinių mazgų ir sistemų gedimus tiriamuoju laikotarpiu. Mašinų eksploatacija tai sudėtingas procesas, susidedantis iš įvairių periodų. Tyrimų metu buvo vertinami automobilio variklio, pakabos, transmisijos, aušinimo sistemos ir elektros sistemos gedimų priklausomybė nuo ridos per tam tikrą periodą. Analizuojamos buvo kiekvienos sistemos gendamumo tikimybės iš kurių buvo apskaičiuota bendra automobilių negendamumo tikimybė. Surinkus gedimų pasiskirstymo duomenis, sudarytas statistinis matematinis modelis. Nustatyta, kad daugiausiai gedimų tyrinėjamu laikotarpiu buvo važiuoklės sistemoje, o mažiausiai aušinimo sistemoje.

Reikšminiai žodžiai: lengvasis automobilis, gedimai, patikimumas

Įvadas

Automobilis yra brangus pirkinys, todėl natūralu, jog norima, kad įsigyta transporto priemonė būtų patikima, tarnautų ilgą laiką ir nereikalautų didelių išlaidų. Automobilių gamintojai deklaruoja daugybę inovatyvių, išmanių ar pažangių technologijų, ir sprendimų lengvinančių vairavimą, bei darančių jį komfortablesnį. Tačiau renkantis naują automobilį visada svarbiausias išlieka patikimumo faktorius (Yi, 2017).

Renkantis automobilį pirkėjas vertina kainą, kokybę, patikimumą ir nereikalaujanti didelių remonto sąnaudų (Bartulis, 2014).

Mašinos skiriasi eksploataavimo periodu, seka ir trukme. Mašinų eksploataavimas prasideda mašinos pagaminimu ir baigiasi naudojimo pabaiga (iškomplektavimu). Eksploatuojamos mašinos darbingumo mažėjimas priklauso ne tik nuo darbo režimo, eksploatacijos sąlygų, priežiūros ir remonto sistemos, personalo kvalifikacijos, bet ir nuo mašinos ir jos elementų patikimumo. Patikimumas apibūdinamas, kaip savybe tam tikrą laiką vykdyti savo funkcijas ir išlaikyti eksploatacinių rodiklių leistinąsias reikšmes. Sugedusios transporto priemonės savininkui labai svarbu, kad gedimas būtų identifikuotas ir pašalintas kaip įmanoma greičiau. Todėl aktualu nustatyti, automobilių sistemos elementų gendamumo tikimybę, įvertinant atsiradusius gedimus priklausomai nuo automobilio eksploatacijos ridos. Gautus duomenis galima panaudoti planuojant profilaktinius automobilio techninius patikrinimus bei specifinius transporto priemonės priežiūros darbus.

Tyrimo objektas – lengvųjų automobilių gedimų dažnis, gedimų tikimybė.

Tyrimo tikslas – įvertinti lengvųjų automobilių pagrindinių mazgų ir sistemų gedimus tiriamuoju laikotarpiu.

Tyrimo uždaviniai:

- Atlikti tiriamų lengvųjų automobilių gedimų pasiskirstymą tiriamuoju laikotarpiu;
- Nustatyti tiriamų automobilių variklio sistemų ir mechanizmų, pakabos ir transmisijos, aušinimo bei elektros sistemų gedimo tikimybės priklausomybę nuo ridos;

Siekiant išspręsti iškeltus uždavinius buvo pritaikyti teoriniai ir empiriniai tyrimo metodai.

Literatūros šaltinių analizė

Automobilio patikimumą apibūdina negendamumas, pataisomumas ir ilgaamžiškumas. Moksliniuose straipsniuose negendamumas charakterizuojamas ypatybe negesti tam tikrą laiką arba išdirbį. Kiekybiškai jis nusakomas tikimybinėmis charakteristikomis ir tikimybiniais parametrais. Labai svarbu, kad šią patikimumo ypatybę turėtų valdymo sistemų elementai, stabdymo įtaisai ir kiti mechanizmai, kuriems sugedus gali įvykti avarija.

Autoriai savo darbe nustatinėjo karinių transporto priemonių patikimumą. Tyrime buvo vertinamos 37 transporto priemonės. Atlikti patikimumo bandymų rezultatai rodo, kad sparčiausiai didėja nepatikimumas, nuvažiavus mažesnę nei 10 000 km. ridą. Didėjant ridai technikos nepatikimumas didėjo iki 0,703 (Tur, 2021). Kiekybiškai pataisomumas nusakomas laiko arba lėšų sąnaudomis gedimams ieškoti, taisyti ir numatyti (Dyakov, 2014). Pataisomumas apibrėžiamas, kaip savybe, leidžiančia aptikti gedimus, nustatyti jų priežastis bei juos pašalinti.

Ilgaamžiškumas vertinamas ypatybe išlikti darbingu iki ribinės būsenos esant tam tikrai techninio aptarnavimo ir remonto sistemai. Autoriai atliko „Vw“ markės automobilių gedimų tikimybės garantiniu ir

pogarantiniu laikotarpiu tyrimą. Tyrimai buvo atlikti Vilniaus automobilių centre. Tyrimui buvo pasirinkti 500 populiarių „Volkswagen“ markės automobilių: „VW Touareg“, „VW Jetta“, „VW Polo“, „VW Golf“, „VW Passat“, „VW Polo“ bei fiksuotas jų apsilankymas servise garantiniu laikotarpiu. Tyrimų metu buvo kaupiama informacija apie pagrindinių automobilių sistemų (variklio, pakabos ir transmisijos, aušinimo sistemos, elektros bei kitų) gedimų pasiskirstymą. Kadangi tai garantinis laikotarpis, tiriami automobiliai, buvo kurių rida nuo 0 iki 100 tūkst. kilometrų. Autoriai automobilių ridą suskirstė į 10 intervalų po 10 000 km. Darbe pateiktas palyginimas garantinio etapo ir tokios pat ridos pogarantinio. Autoriai pastebėjo, kad garantiniu laikotarpiu gedimų intensyvumo kreivės banguoja daugiau, gedimų zonos siauresnės, tai leidžia manyti, kad šiame etape automobilių sistemų gedimų tikimybė iš tiesų mažesnė ir daugiau atsitiktinė. Plačios didesnės gedimų tikimybės zonos, pasibaigus garantinei ridai, patvirtina prielaidą, kad jeigu gamintojas garantinę ridą nustatytų didesnę, toks žingsnis jam nemažai kainuotų. Gamintojų nustatyta garantinė rida yra kompromisinis sprendimas, nes vienos sistemos pradeda intensyviai gesti nepasiekus garantinės ridos, kitos – jau už jos ribų (Bartulis, 2014).

Mašinos gyvavimo ciklą galima suskirstyti į tris periodus: projektavimo ir konstravimo, gamybos, ir eksploatacijos (naudojimo). Eksploatacijos metu mašinos darbingumas mažėja. Eksploatacija apibrėžiama eksploatacijos laiku (trukme), kalendorinė objekto eksploataavimo trukmė iki ribinės būklės. Skiriama gali būti eksploatacijos trukmė iki pirmo kapitalinio remonto, tarp remontų, vidutinė, iki nurašymo, procentinė, iki moralinio susidėvėjimo. Tyrinėjantys autoriai techninę eksploataciją apibūdina, kaip kompleksą techninių, ekonominių ir organizacinių priemonių, kuriomis siekiama išsaugoti arba atitaisyti mašinų darbingumą su mažiausiomis darbo ir materialinių resursų sąnaudomis.

Tyrimo objektai ir metodika

Tyrimė buvo vertinami 200 vnt. tos pačios markės modelio lengvieji automobiliai. Per tyrimo periodą buvo fiksuotas jų apsilankymas servise. Visi šie automobiliai buvo pagaminti nuo 2014 iki 2019 metų. Tyrimų metu buvo kaupiama informacija apie pagrindinių automobilių sistemų (variklio, pakabos ir transmisijos, aušinimo, elektros ir kitų sistemos elementų) gedimų pasiskirstymą.

Darbe buvo atliktas statistinis mašinų patikimumo ir eksploataavimo rodiklių nustatymas. Automobilių rida buvo suskirstyta į 15 intervalų po 10000 km. Pagal turimus duomenis buvo sudarytos variacinės eilutės, kuriose buvo surašyti gedimų skaičiai. Iš šių variacinių eilučių sudarytos kiekvienos techninės sistemos gedimų statistinės eilutės. Sistemos statistinė gedimo tikimybė nustatoma, kaip atsitiktinio dydžio atsiradimo atvejų skaičiaus kiekviename intervale santykis su bendru informacijos skaičiumi (Jonaitis, 1998).

Technikos objekto patikimumas $P(t)$ ir gendamumas $Q(t)$ bus įvertintas tik jeigu jis eksploatuojamas tiksliai laikantis nustatytų eksploataavimo sąlygų. Mažo patikimumo veiksnys yra gedimas. Patikimumas ir gendamumas bėgant laikui keičiasi. Eksploatuojant vieną ar kitą gaminį (įrenginį) patikimumas nuosekliai krinta. Esant bet kuriam laiko momentui sumuojant įrenginio negendamumą ir patikimumą jų suma yra lygi vienetui:

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (1)$$

čia $P(t)$ – patikimumas; $Q(t)$ – gendamumas.

Variacinėje eilutėje buvo nurodytas kiekvieno intervalo dydis bei atsitiktinių reikšmių skaičius, kurie patenka į bendrą intervalą. Sugrupavus duomenis buvo sudaryta variacinė eilutė, kurioje surašytas gedimų skaičius. Patikimumo reikšmių pasiskirstymo charakteristika yra statistinė tikimybė, kuri apskaičiuojama kaip dažnių ir stebėjimų skaičiaus santykis (Tur, 2021):

$$p_i = \frac{m_i}{N_i} \quad (2)$$

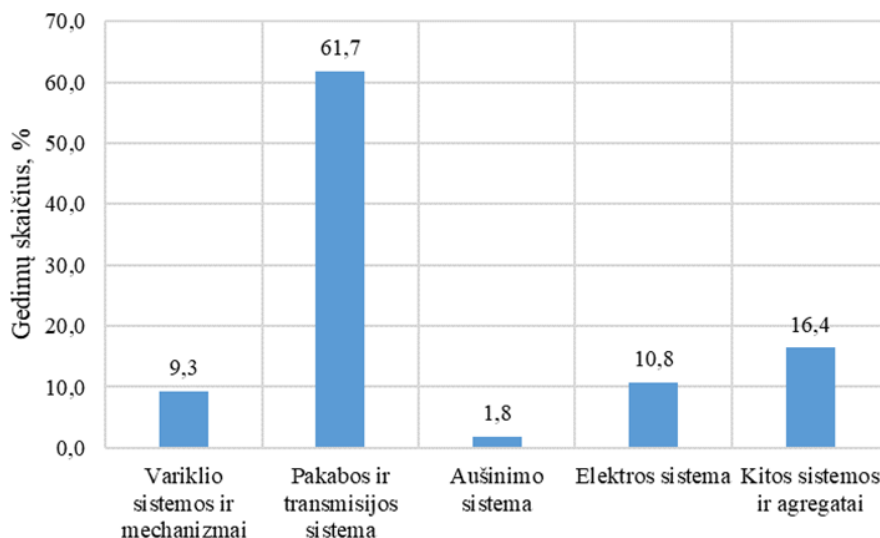
čia m_i – pagrindinių sistemų kiekvieno periodo gedimų skaičius; N_i – pagrindinių sistemų gedimų skaičius garantiniu laikotarpiu.

Tyrimų rezultatai

Mašinos ir jos elementų patikimumas gali būti nustatomas pagal įvairias savybes. Negendamumo tikimybė apibūdinama savybe, kad per tam tikrą laiką ar išdirbį detalė nesuges. Remiantis tyrimo metu surinktais pagrindinių automobilių sistemų gedimo duomenimis, nustatytas gedimų dažnis tiriamuoju laikotarpiu (1 pav.).

Gedimų dažnis, arba gedimų pasiskirstymo tankis – tai per darbo laikotarpį sugedusių detalių skaičiaus ir darbo trukmės bei darbo pradžioje buvusių detalių skaičiaus santykis. Nustačius pagrindinių sistemų gedimo dažnius, atlikti tyrimai parodė, kad garantiniu laikotarpiu didžiausias yra važiuoklės sistemos gedimų

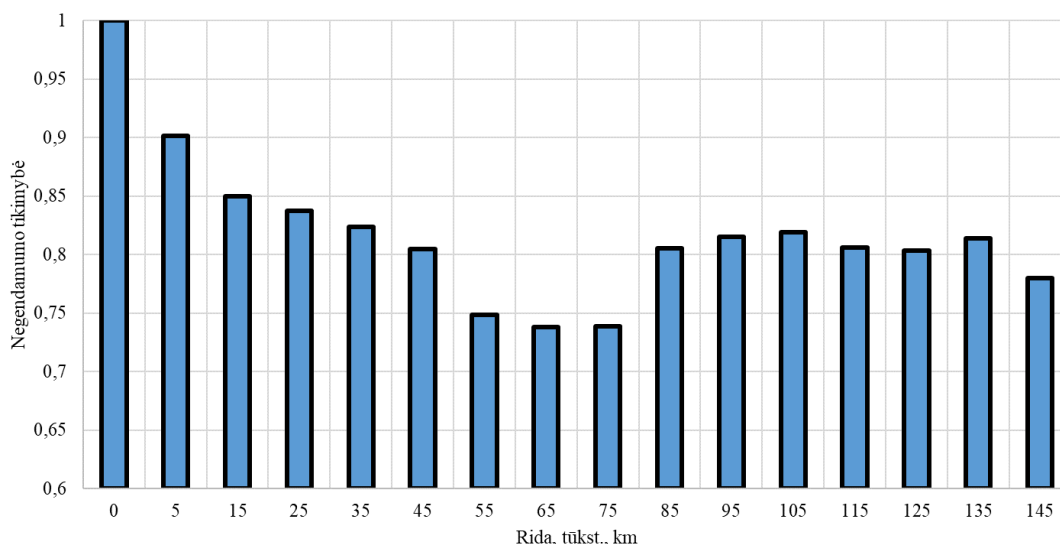
dažnis (1301 gedimų). Mažiausias gedimų dažnis nustatytas aušinimo sistemoje (36 gedimai). Tyrime buvo išskirtos penkios gedimų grupės: variklio, pakabos ir transmisijos, elektros, aušinimo, bei kitų sistemų.



1 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) pagrindinių sistemų gedimų dažnis

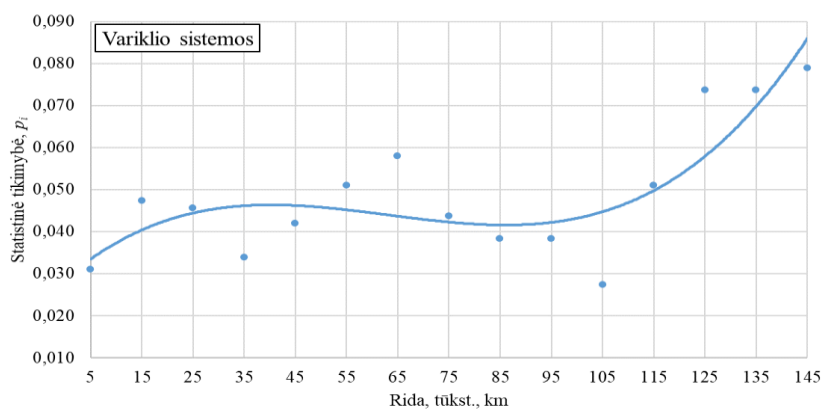
Išrūšijavus šių grupių gedimus, buvo apskaičiuotos statistinės tikimybės iš kurių buvo apskaičiuota negendamumo tikimybė. Lengvųjų automobilių negendamumo tikimybė tiriamuoju laikotarpiu priklausomai nuo ridos pateikta (2 pav.).

Buvo nustatyta, kad eksploatacijos pradžioje, automobiliui nuvažiavus 20 tūkst. kilometrų, variklio, pakabos ir transmisijos, aušinimo bei elektros sistemų tikimybė, kad automobilis neges, buvo 0,84. Automobiliui nuvažiavus 75 tūkst. kilometrų ridos, negendamumo tikimybė sumažėjo iki 0,73. Toliau eksploatuojant automobilį negedamumas tikimybė sumažėja. Pasiekus 145 tūkst. kilometrų ridą, negendamumo tikimybė, kad automobilis neges buvo lygi 0,78.



2 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) priklausomybė tiriamuoju laikotarpiu priklausomai ridos

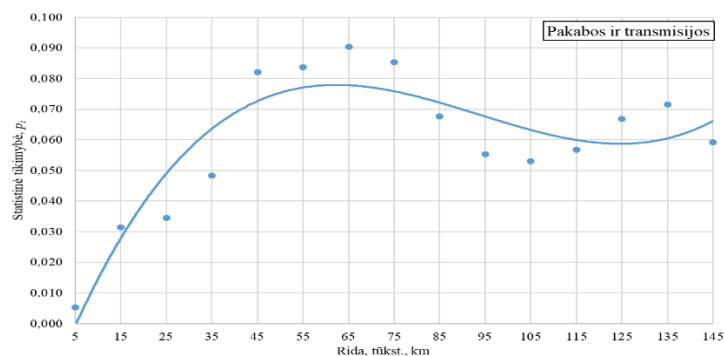
3 pav. pateikta lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) variklio sistemos ir jos mechanizmų gendamumo statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos. Daugianarė krypties linija pasirinkta, kad nuosekliau matytųsi gedimo tikimybė prie tam tikros automobilio nuvažiuotos ridos. Identišškai buvo nagrinėtos ir kitos sistemos.



3 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) variklio sistemos ir jos mechanizmų gedimų statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos

Kaip matyti, variklio sistemos ir jos mechanizmų gedimų tikimybė tiriamu laikotarpiu pradeda ryškėti, lengviesiems automobiliams nuvažius 40 tūkst. kilometrų. Automobiliui nuvažius 100 tūkst. kilometrų, variklio defektai palaipsniui pradeda didėti.

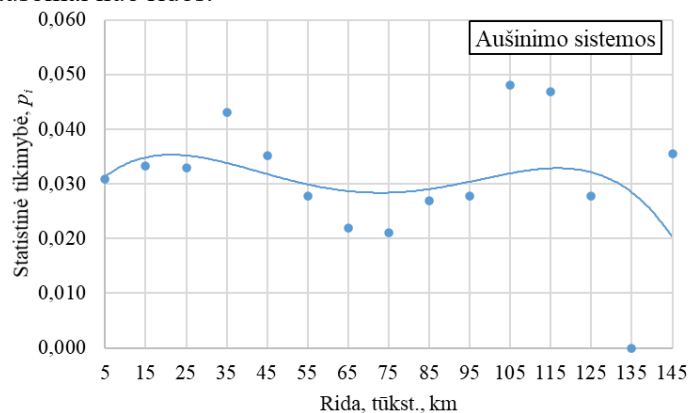
4 pav. pateikta lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) pakabos ir transmisijos gendamumo statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos.



4 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) pakabos ir transmisijos sistemos gedimų statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos

Daugiausia pakabos ir transmisijos sistemos gedimų tikimybė tiriamu laikotarpiu atsiranda automobiliui nuvažius 50 - 75 tūkst. kilometrų ridos. Didėjant ridai, pakabos ir transmisijos sistemos gedimai mažėja iki 125 tūkst. km ridos.

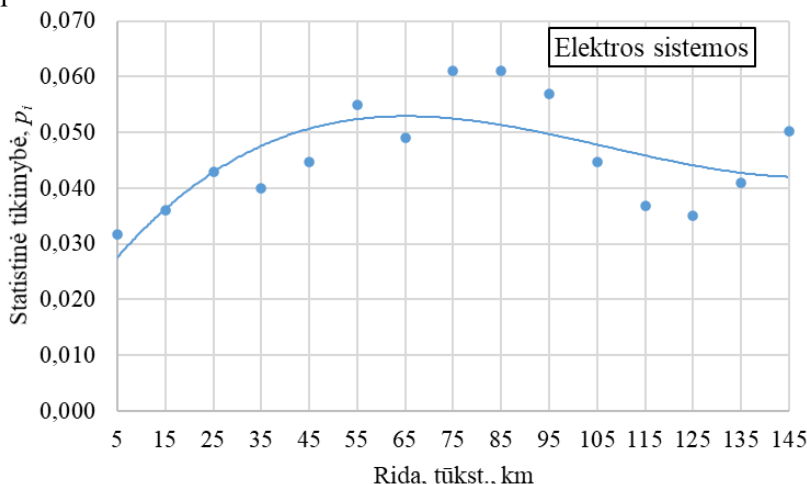
5 pav. pateikta lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) aušinimo sistemos gendamumo statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos.



5 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) aušinimo sistemos gedimų statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos

Aušinimo sistemos gedimo atsiradimo tikimybė yra automobiliui nuvažius 20 - 30 tūkst. kilometrų ridos. Vėliau gedimų tikimybė mažėja iki 70 tūkst. kilometrų. Toliau eksploatuojant automobilį gedimo tikimybė pradeda didėti.

6 pav. pateikta lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) elektros sistemos gendamumo statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos.



6 pav. Lengvųjų automobilių (tos pačios markės modelio) elektros sistemos gedimų statistinė tikimybė priklausomai nuo ridos

Elektros sistemos didžiausia gedimo tikimybė pastebėta nuvažius 65 tūkst. kilometrų ridos. Eksploatuojant lengvąjį automobilį, elektros sistemos gedimo atsiradimo tikimybė mažėjo iki 135 tūkst. kilometrų

Išvados

1. Nagrinėjamu laikotarpiu didžiausias buvo pakabos ir transmisijos sistemos gedimų dažnis – 1301 gedimų. Mažiausias gedimų dažnis nustatytas aušinimo sistemoje – 36 gedimai.
2. Didžiausias lengvųjų automobilių variklio, pakabos ir transmisijos, aušinimo, elektros sistemos ir kitų gedimų kiekis pasireiškia jam nuvažius 55 - 75 tūkst. km
3. Didelė tikimybė, kad automobilio darbą sutrikdys variklio ir jo agregatų gedimai yra automobiliui nuvažius virš 105 tūkst. kilometrų ridos.
4. Pakabos ir transmisijos sistemos gedimų atsiranda per visą tiriamą laikotarpį. Didelė tikimybė, kad automobilio pakabos ir transmisijos sistemoje bus pastebėta gedimų, automobiliui nuvažius 45-75 tūkst. kilometrų.

Literatūra

1. Luneckas, D., & Bartulis, V. (2014). „VW markės automobilių gedimų tikimybės garantiniu ir pogarantiniu laikotarpiu tyrimas“. Science: Future of Lithuania, 6(5).
2. Dyakov, I. (2013). The problems of optimal design in the automotive industry. Transport, 28(3), 290-294.
3. Višniakas, I., & Slivinskas, K. (2005). Patikimumo teorija. Objektų kokybės vertinimo ir patikimumo skaičiavimų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika.
4. Tilvikas, K. (2010). Automobilių gendamumo garantiniu laikotarpiu tyrimas. Akademija, 2010, p. 37-41.
5. Leonas, J. (1998). Mašinų servisas. Mašinų patikimumas ir eksploatavimas. Smaltija, Kaunas, p. 75-145.
6. Tur, A. V., & Tur, V. V. (2021). Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych.
7. Yi, X. J., Dhillon, B. S., Shi, J., Mu, H. N., & Zhang, Z. (2017). A new reliability analysis method for vehicle systems based on goal-oriented methodology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 231(8), 1066-1095.

RESEARCH OF PASSENGER CAR RELIABILITY

Summary

The article presents a study of the reliability of cars of the same brand model. The machine is operationally reliable as long as it is operational. Serviceability is the condition of a machine or its elements when it can perform its functions. Complete or partial loss of performance is called a failure. Machine operation is a complex process consisting of various periods. During the research, the dependence of the car's engine, chassis and transmission, cooling, electrical and other system failures on the mileage over a certain period was evaluated. The failure probabilities of each system were analysed, from which the total probability of failure of the cars was calculated. After collecting the data on the distribution of failures, a statistical mathematical model was created. It was found that the chassis system had the most failures during the study period and the cooling system had the least.

Key words: passenger car, failures, reliability.

HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ AUŠINIMO SISTEMOS FUNKCIONALUMO VERTINIMAS: TOYOTA PRIUS ATVEJO ANALIZĖ

Titas Minelga, Darius Juodvalkis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Automobilių aušinimo sistemų paskirtis - nuvesti šilumą nuo kaistančių agregatų ir palaikyti optimalią jų temperatūrą. Tradicinių, su vidaus degimo varikliu automobilių šilumą generuojantis agregatas, kurį reikia aušinti yra vienas - tai vidaus degimo variklis. Hibridiniuose automobiliuose aušinimo sistemos sudėtingesnės, nes aušinamų agregatų yra daugiau – vidaus degimo variklis, elektros varikliai, įtampos keitiklis (inverteris) ir aukštos įtampos baterija. Kai kuriems iš šių įrenginių reikalinga skirtinga temperatūra, todėl ir aušinimo sistemos dažnu atveju jiems įrengiamos skirtingos. Šiame darbe nagrinėjama 4 kartos Toyota Prius hibridinio automobilio aušinimo sistema ir pateikiama inverterio aušinimo sistemos problemos ir jos šalinimo technologijos atvejo patirtis.

Reikšminiai žodžiai: hibridinis automobilis, inverteris, aušinimo sistema.

Ivadas

Automobilių su vidaus degimo varikliu aušinimo sistemos sandara yra gana paprasta: siurblys, išsiplėtimo bakelis, žarnos, termostatas, radiatorius ir jo ventiliatorius (Mahle, 2021). Radiatoriaus ventiliatoriai dažniausiai būna sumontuoti prie radiatoriaus viename komplekte, jų funkcija yra sukurti oro srautą jei temperatūra pradėtų kilti per aukštai. Pro radiatorių teka aušinimo skystis, aušinimo skysčio cirkuliaciją sukelia diržo sukamas siurblys, kuris viduje turi besisukančią sparnuotę. Radiatoriaus viršuje yra aušinimo skysčio patekimo vamzdis – pro jį įteka karštas aušinimo skystis, tekant per visą radiatorių jis atvėsina, radiatoriaus apačioje skystis išteka vėsus tam, kad galėtų tinkamai vėsinti variklį. Termostato funkcija yra reguliuoti aušinimo skysčio temperatūrą. Kol skysčio temperatūra žema, aušinimo skystis keliauja trumpesniu keliu aplenkiant radiatorių, pakilus temperatūrai aušinimo skystis teka pro radiatorių – ilgesniu keliu. Išsiplėtimo bakelis sujungtas su radiatoriumi. Padidėjus slėgiui aušinimo sistemoje radiatoriaus mechanizmas prasidaro, kad aušinimo skystis galėtų patekti iš sistemos atgal į aušinimo skysčio bakelį. Slėgiui mažėjant, aušinimo skystis iš bakelio yra grąžinamas į aušinimo sistemą. Aušinimo sistemos žarnų paskirtis yra sujungti visus šiuos mechanizmus tarpusavyje. Hibridinių automobilių aušinimo sistemos skirtumas yra tas, kad juose naudojamos kelios skirtingos aušinimo sistemos (Hella, 2022). Būtent Prius automobiliuose aušinimo sistema yra gana sudėtinga, jos centre yra pusiau padalintas radiatorius, kurio viršutinė dalis aptarnauja vidaus degimo variklį, o apatinė dalis naudojama inverterio ir pavarų dėžės aušinimui.

Tyrimo problema: kokie galimi hibridinių automobilių jėgainių komponentų aušinimo sutrikimai ir kokios metodikos taikomos jų diagnostikai bei remontui.

Tyrimo tikslas: atlikti hibridinių automobilių aušinimo sistemų analizę ir pasidalinti inverterio aušinimo sistemos problema ir jos šalinimo atvejo patirtimi.

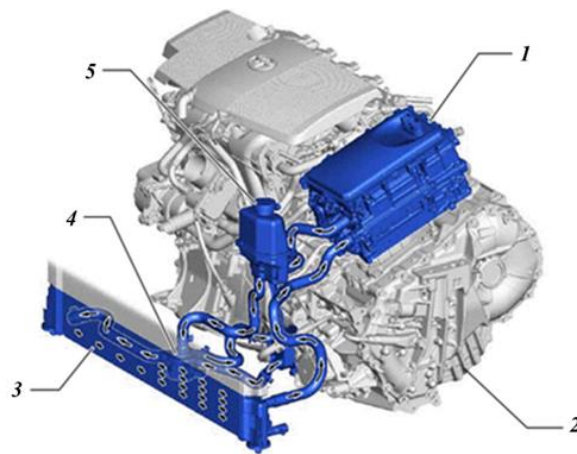
Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti hibridinių automobilių aušinimo sistemų analizę.
2. Apžvelgti Toyota Prius automobilio aušinimo sistemos problemų šalinimo algoritmus.
3. Įvertinti Toyota Prius inverterio aušinimo sistemos problemą ir jos šalinimo patirtį.

Pirmoje darbo dalyje analizuojamos hibridinio automobilio Toyota Prius variklio, inverterio ir aukštos įtampos baterijos aušinimo sistemos, jų atliekamos funkcijos ir sandara. Antroje dalyje atliekama diagnostinės įrangos apžvalga ir Toyota rekomenduojamų inverterio aušinimo sistemos problemų paieškos ir šalinimo būdų analizė. Trečioje dalyje aprašoma 4 kartos Toyota Prius automobilio inverterio aušinimo sistemos problema ir pateikiama jos paieškos bei šalinimo metodika.

Hibridinių automobilių aušinimo sistemos analizė

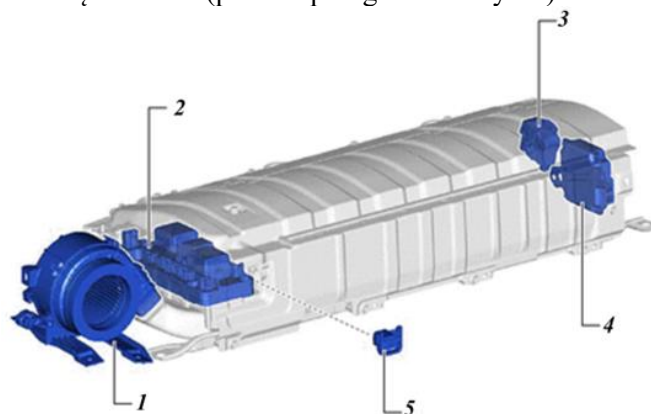
Toyota Prius 4 kartos automobilyje yra 3 skirtingos aušinimo sistemos: variklio, inverterio ir aukštos įtampos baterijos. Inverteris paverčia aukštos įtampos akumulatoriaus nuolatinę srovę į kintamąją generatoriaus ir starterio (MG1) ir variklio (MG2) srovę (Kelly, 2019). Taip pat inverteris palaiko įtampos mažinimo konvertavimą iš hibridinio akumulatoriaus į 12 V sistemą. Šis agregatas gamina šilumą konversijos proceso metu, todėl inverteris aušinamas specialia aušinimo sistema, kurią sudaro inverterio vandens siurblys, aušinimo ventiliatorius ir radiatorius. Inverterio aušinimas (1 pav.): aušinimo skystis iš rezervuaro teka į inverterį, tada į elektrinį siurblių, per transmisiją, radiatoriaus apatinę dalį ir galiausiai atgal į rezervuarą. Inverterio viduje skystis prateka pro dvi skirtingas erdves: viršutinę dalį, kurioje yra dvipoliai tranzistoriai ir apatinę dalį, kurioje yra nuolatinės srovės keitiklis.



1 pav. Toyota Prius inverterio aušinimo sistema: 1 – inverteris; 2 – pavarų dėžė su integruotais elektros varikliais; 3 – aušinimo radiatorius; 4 – elektrinis siurblys; 5 – skysčio rezervuaras

Šaltinis: Toyota, 2015

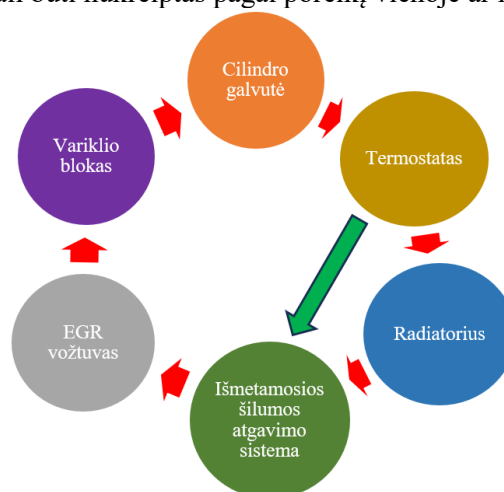
Prius aukštos įtampos akumuliatorius (2 pav.) yra po galinėmis sėdynėmis, jis yra aušinamas vienu ventiliatoriumi, kuris traukia orą iš salono (po arba prie galinės sėdynės) ir išstumia jį į akumuliatorių.



2 pav. Toyota Prius aukštos įtampos baterijos aušinimo sistema: 1 – oro ventiliatorius; 2 – BMS modulis; 3 – temperatūros jutiklis; 4 – įtampos jutiklis; 5 – baterijos išjungiklis

Šaltinis: Toyota, 2015

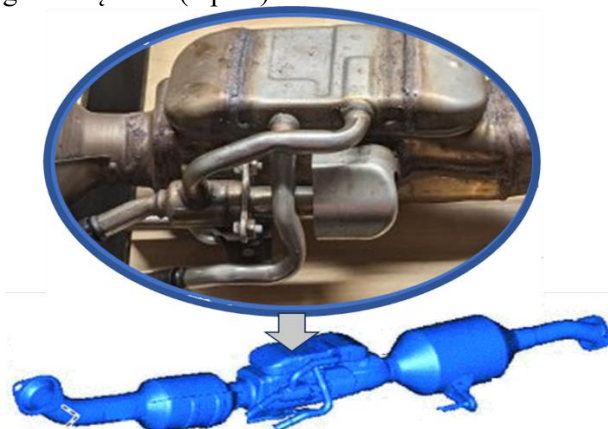
Vidaus degimo variklio aušinimo sistema yra gana komplikauta, ją sudaro 4 skirtingos schemos. Pirmoji yra skirta variklio aušinimui, antroji – oro išleidimui iš sistemos, trečia – išmetamųjų dujų recirkuliacijos (EGR) aušinimui ir neleidžia apledėti droseliui ir ketvirtoji, yra skirta išmetimo šilumos atstatymui ir kuo greitesniam variklio įšilimui iki darbinės temperatūros. Visi šie aušinimo veiksmai vyksta vienu metu, aušinimo skystis gali būti nukreiptas pagal poreikį vienoje ar kitoje sistemoje.



3 pav. Vidaus degimo variklio aušinimo sistemos principinė schema

Šaltinis: Kelly, 2019

Kol variklis neįšilęs iki reikiamos temperatūros, aušinimo skystis cirkuliuoja apeidamas pagrindinį aušinimo radiatorių (3 pav.). kai variklis pasiekia optimalią temperatūrą, atsidaro termostatas ir aušinimo skystis cirkuliuoja didžiuoju ratu per pagrindinį radiatorių. Prius variklio aušinimo sistemoje yra integruotas išmetamųjų dujų šilumos atgavimo įtaisas (4 pav.).

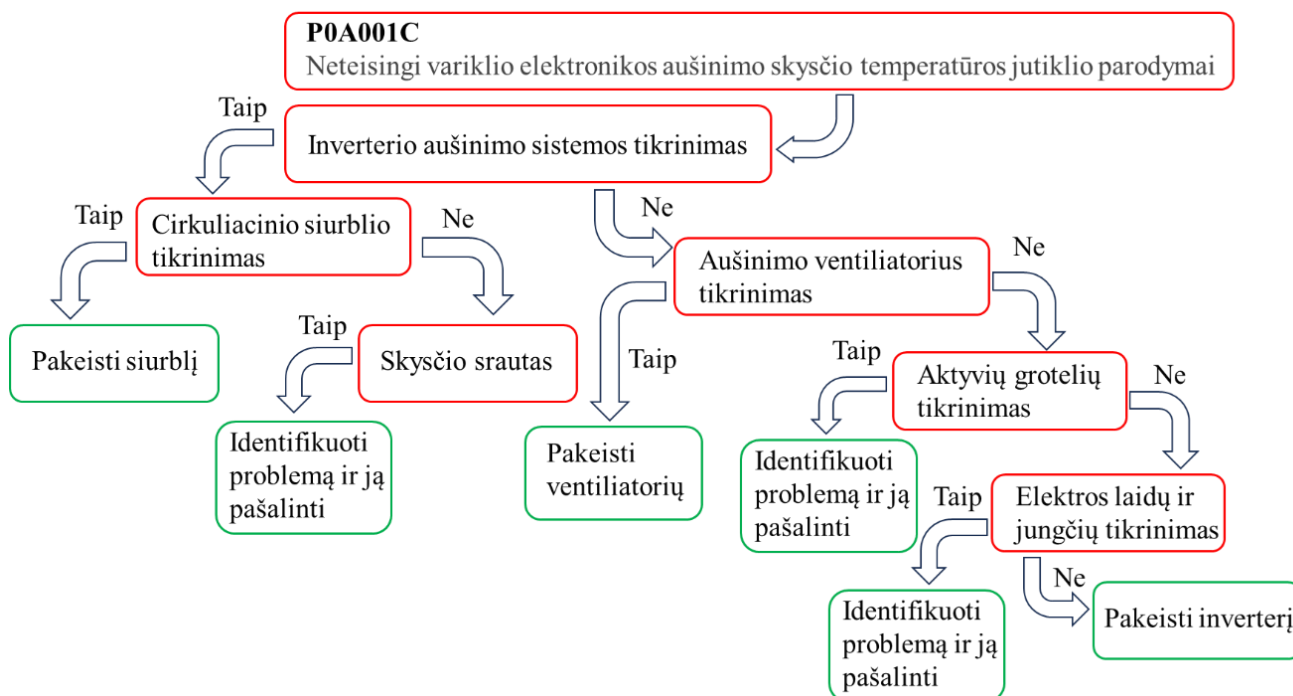


4 pav. Prius išmetamųjų dujų šilumos atgavimo sistema
Šaltinis: Sudaryta autorių

Išmetamųjų dujų šilumos atgavimo sistema didžiausią efektą duoda žiemos metu ir gali leisti sumažinti degalų sąnaudas iki 10 proc.

Toyota Prius aušinimo sistemos problemų šalinimo algoritmų apžvalga

Toyota automobilių diagnostikai gali būti naudojami du įrenginiai. Techstream yra oficialus Toyota ir Lexus mobilus diagnostikos įrenginys, skirtas prisijungti prie automobilio vidinių kompiuterių, nuskaityti transporto priemonės veikimo problemas, gedimus, pateikti kodus, atlikti gyvų parametrų bandymus, adaptacijas ar atlikti programavimo funkcijas. GTS OTC (Global Techstream) – tai naujos kartos diagnostikos įrankis, kurį sukūrė Toyota Motor Corporation. Skirtingai nuo iki tol buvusios diagnostikos priemonės, GTS yra kompiuteriu pagrįstas diagnostikos įrankis. (Toyota, 2023)



5 pav. Problemos paieškos ir šalinimo algoritmas
Šaltinis: sudaryta autorių

5 pav. pateiktas diagnostiniu įrankiu nustatytos problemos, kurią indikuoja P0A001C klaidos kodas, apibendrintas automobilio gamintojo rekomenduojamas gedimo paieškos ir šalinimo algoritmas.

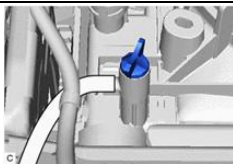
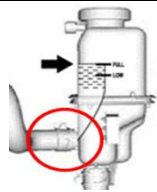
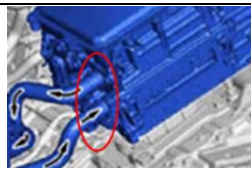
Inverterio aušinimo sistemos gedimo atvejo analizė

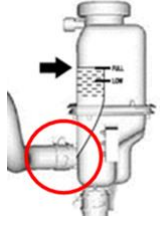
Situacijos aprašymas. Nagrinėjamas automobilis 2017 metų gamybos automobilis Toyota Prius. Važiuojant automobiliu skydelyje atsiranda pranešimas „Hybrid System Overheat Output Power is Limited“, automobilis važiuoja, bet apribota variklio galia. Atlikus diagnostiką nustatyta klaida P0A001C, kuri reiškia elektros variklių elektronikos temperatūros jutiklio neteisingus parodymus.

Problemos paieška ir šalinimas. Analizuojant Toyota pateiktą techninę dokumentaciją, nustatytas šios problemos aprašymas, kur teigiama, kad esant šiai klaidai, galima problema yra inverteryje ir ji reiškia, kad numatyta (apskaičiuota) inverterio aušinimo skysčio temperatūra neatitinka jutiklio išmatuotai temperatūrai. Analizuojant inverterio sandarą, pastebėta, kad temperatūros jutiklis inverteryje yra integruotas ir jo pakeisti ar patikrinti galimybės nėra. Esant šiai klaidai Toyota rekomenduoja naudoti problemos paieškos ir šalinimo algoritmą, kuris pateiktas 5 pav. Šiuo atveju problemos paieška pradėta nuo inverterio aušinimo sistemos cirkuliacijos patikros ir nustatyta, kad šioje sistemoje cirkuliacija yra nepakankama (6 pav. a). Nustačius nepakankamą aušinimo skysčio cirkuliaciją inverterio sistemoje, įtarta, kad mažiausią pralaidumą turi pats inverteris, todėl nuspręsta praplauti inverteryje esantį aušinimo kontūrą. Praplovus inverteryje esantį aušinimo kontūrą, aušinimo skysčio cirkuliacija žymiai pagerėjo (6 pav. b). Šios problemos paieškos ir remonto technologija pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė

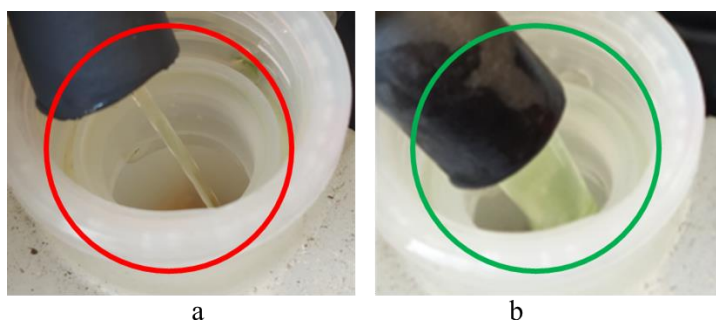
P0A001C problemos paieškos ir šalinimo technologija

Nr.	Pavadinimas	Įrankiai ir įranga	Techninės sąlygos	Iliustracija
<i>Inverterio aušinimo sistemos gedimo P0A001C paieška</i>				
1.	Diagnostika	VCI, Techstream	Jungtis per OBD jungtį, kuri yra po vairu	
2.	Aušinimo skysčio dalinis išleidimas	Guminė žarnelė (10mm skersmuo. Ilgis apie 1 m), Speciali talpa.	Užmovus žarnelę, atsukti inverterio radiatoriaus apačioje esantį kraną ir nupilti aušinimo skystį iš bakelio (apie 0,5 ltr)	
3.	Bakelio sandarinimas	Savadarbis sandarinimo kamštis	Savadarbiu sandarinimo kamščiu užsandarinama grįžtamojo srauto jungtį bakelyje, o grįžtamo srauto žarną įdedame vietoj bakelio kamščio	
4.	Aušinimo skysčio papildymas	Aušinimo skystis	Supilti išleistą aušinimo skystį į bakelį	
5.	Aušinimo skysčio srauto tikrinimas	VCI, Techstream	Diagnostiniu įrenginiu aktyvuoti inverterio sistemos elektrinį siurblį (100 proc.) ir stebėti skysčio srautą	6 pav. a
<i>Inverterio aušinimo sistemos kontūro plovimas</i>				
6.	Aušinimo skysčio išleidimas		Operaciją atlikti kaip aprašyta 2 punkte. Išleisti visą aušinimo skystį iš sistemos	
7.	Inverterio aušinimo žarnų atjungimas	Specialios replės	Suspausti žarnų sąvaržas specialiomis replėmis ir atjungti aušinimo skysčio žarnas nuo inverterio	
8.	Plovimo kontūro prijungimas prie inverterio	Papildomos guminės žarnos (vidinis skersmuo 16 mm, ilgis apie 2 m). 2 vnt.	Papildomas gumines žarnas prijungti vietoje praeitame punkte atjungtų žarnų	
9.	Plovimo kontūro užpildymas	Vandens ir plovimo skysčio mišinys	Plovimo kontūrą užpildyti plovimo skysčio ir vandens mišiniu. Reikalingas tūris apie 3 ltr. Abejų žarnų atviri galai pakelti viršuje	
10.	Plovimo operacija	Oro kompresorius	Prie vienos žarnos prijungti oro kompresorių. Kitos žarnos galą įleisti į	

Nr.	Pavadinimas	Įrankiai ir įranga	Techninės sąlygos	Illustracija
			spec. talpą ir atidaryti oro padavimą. Naudoti ne didesnį nei 2 Bar oro slėgį. Operaciją kartoti 4-8 kartus	
11.	Aušinimo sistemos užpildymas	Specialios replės. Aušinimo skystis	Atjungti papildomas plovimo žarnas ir prijungti inverterį prie aušinimo sistemos. Sistemą užpildyti aušinimo skysčiu. Grįžtamojo srauto žarnelės neprijungti, o įdėti vietoje bakelio kamščio	
12.	Aušinimo skysčio srauto tikrinimas		Operaciją atlikti kaip aprašyta 5 punkte	6 pav. b
13.	Grįžtamojo srauto žarnelės prijungimas ir sistemos užpildymas	Specialios replės. Aušinimo skystis	Prijungti grįžtamojo srauto žarnelę ir sistemą užpildyti aušinimo skysčiu iki MAX žymos. Rekomenduojama naudoti naują ir originalų TOYOTA aušinimo skystį. Atlikus bandomąjį važiavimą patikrinti skysčio lygį ir, jei reikia, papildyti	

Šaltinis: sudaryta autorių

6 pav. pateikta inverterio aušinimo sistemos cirkuliacija prieš ir po inverterio plovimo, a pav. akivaizdžiai matoma nepakankama aušinimo skysčio cirkuliacija.



6 pav. Aušinimo skysčio cirkuliacijos intensyvumo tikrinimas: a – nepakankamas srautas prieš plovimą; b – pakankamas srautas po plovimo

Šaltinis: sudaryta autorių

Inverterio aušinimo sistemos skysčio srauto debitas matuotas nebuvo, nes nėra žinomas jo poreikis o tokių duomenų automobilio gamintojas neteikia, bet vertinant vizualiai galima spėti, kad praplovus inverteryje esantį aušinimo kontūrą, skysčio debitas padidėjo keletą kartų.

Nustačius problemą, kuri šiuo atveju buvo nepakankamas aušinimo skysčio cirkuliacijos intensyvumas ir ją pašalinus, automobilis eksploatuojamas toliau. Nuo šios problemos pašalinimo automobilis jau pravažiavo apie 50.000 km ir ji nepasikartoja. Tad galima teigti, kad problema identifikuota teisingai ir sėkmingai pašalinta.

Išvados

1. Atlikus hibridinio automobilio aušinimo sistemos analizę, nustatyta, kad jame naudojamos trys skirtingos aušinimo sistemos – vidaus degimo variklis ir inverteris aušinami skirtingomis aušinimo sistemomis, kuriose naudojamas skystis, o aukštos įtampos baterija aušinama oru.
2. Toyota ir Lexus automobilių diagnostikai gali būti naudojami Techstream arba GTS diagnostikos įrankiai. Pateiktas apibendrintas gamintojo rekomenduojamas problemos P0A001C šalinimo algoritmas.
3. Atlikta Prius inverterio aušinimo sistemos problemos analizė ir sudaryta šios problemos šalinimo technologija, kurią sudaro dvi atskiros dalys – problemos paieškos ir problemos šalinimo.

Literatūra

1. Borgwarner Intake and Exhaust Gas Management. 2022 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.08] <https://www.borgwarner.com/technologies/intake-exhaust-gas-management>

2. Hella Thermal management in electric and hybrid vehicles. 2022 interaktyvus [žiūrėta 2023.10.28] <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Car-air-conditioning/Thermal-management-in-electric-and-hybrid-vehicles-1725/#>
3. Kelly J. Hybrid and EV cooling system service. 2019 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.05] <https://www.vehicle-servicepros.com/print/content/21197978>
4. Mahle, Germany. Vehicle cooling. 2021 interaktyvus [žiūrėta 2023.10.25] <https://www.mahle-aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/klima/mah-kompaktwissen-ec-fahrzeugkuehlung-en-screen.pdf>
5. Toyota: Diagnostic tools. 2023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.12] <https://www.toyota-tech.eu/DiagnosticTools/Setup>
6. Toyota: PRIUS Gasoline-Electric Hybrid Synergy Drive. 2015 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.10] https://www.toyota-tech.eu/HYBRID/HVDM/EN/Prius_ZVW5.pdf

EVALUATION OF THE FUNCTIONALITY OF COOLING SYSTEM IN HYBRID CARS: TOYOTA PRIUS CASE STUDY

Summary

The purpose of car cooling systems is to remove heat from hot units and maintain their optimal temperature. In traditional internal combustion engine cars, the heat generating unit that needs to be cooled is one, the internal combustion engine. In hybrid cars, the cooling systems are more complex, because there are more units to be cooled - internal combustion engine, electric motors, voltage converter (inverter) and high voltage battery. Some of these devices require different temperatures, so they are often equipped with different cooling systems. This paper examines the cooling system of the 4th generation Toyota Prius hybrid car and presents the case experience of the failure of the inverter cooling system and its elimination technology. The purpose of the study: to analyze the cooling systems of hybrid cars and to share the experience of the inverter system failure and the elimination of this failure.

Key words: hybrid car, inverter, cooling system.

PAKABOS KOMPONENTŲ KOKYBĖS PARAMETRŲ RAIŠKA LENGVUOSIUOSE AUTOMOBILIUOSE

Lukas Andriuškevičius, Marius Mažeika
Kauno technikos kolegija

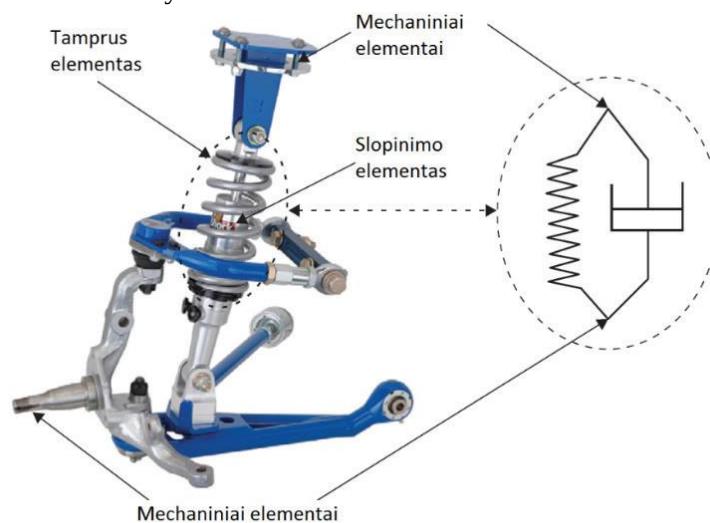
Anotacija

Pakabos sistema yra gyvybiškai svarbi automobilio sudedamoji dalis, kurios tikslas – pagerinti stabilumą ir gerą valdymą kelyje, transporto priemonėi judant nelygiomis kelių sąlygomis. Įvairios apkrovos sąlygos, ilgesnis veikimas ir nuolatinis kelio smūgių sugėrimas bei vidinių dalių dėvėjimasis gali lemti pakabos sistemos defektus. Laiku neatlikus remonto darbų, šie gedimai gali būti kitų pakabos elementų ar kitų automobilio dalių gedimų priežastimi, dėl kurių sistema gali sutrikti ir kelti pavojų eismo dalyvių saugumui. Pakabos elementų būklės patikrinimas yra neatsiejamas nuo automobilio techninės priežiūros. Todėl atsiranda poreikis užtikrinti, jog pakabos detalės būtų tvarkingos ir atitiktų reikiamus kriterijus transporto priemonių techninėse apžiūrose.

Reikšminiai žodžiai: pakaba, amortizatorius, pakabos gedimai, stabilizatoriaus traukė.

Įvadas

Lengvųjų automobilių skaičius Lietuvoje didėja eilę metų, o vien nuo 2017 m. iki 2022 m. šis skaičius išaugo net 18 proc. (Oficialiosios statistikos portalas, 2023). Kiekviena transporto priemonė turi pakabą, kuri padidina važiavimo patogumą, transportavimo kokybę ir eismo saugumą. Automobilio pakaba jungia kėbulą su ratais. Šios jungties pagrindiniai uždaviniai yra išlaikyti automobilio svorį, slopinti vibracijas, užtikrinti valdomumą ir patikimumą. Klasikinėje pakaboje naudojami pasyvieji slopinimo elementai. Pasyvi pakaba negali keisti slopinimo ir standumo koeficientų judant automobiliui, todėl slopinimo elementams nėra naudojamas papildomas energijos šaltinis. Šis pakabos tipas yra paprastos konstrukcijos, jai pagaminti reikalingos mažos gamybos sąnaudos (Surblys, 2018). Tokia pakaba dažniausiai montuojama lengvuosiuose automobiliuose. Automobilio pakabą sudaro tamprieji elementai, amortizatoriai, kreipiamieji įtaisai, stabilizatoriai (1 pav.). Šie komponentai turi būti lengvi, preciziškai perduoti jėgas, lengvai judėti. Pakabos elementai atrodo gal ir nesudėtingi, tačiau gamintojai nuolatos juos tobulina, siekdami patikimumo, efektyvumo, lengvumo ir kainos santykio.



1 pav. Klasikinė pakabos sistema

Šaltinis: Surblys, V., & Sokolovskij, E. (2018). *The research of passenger car passive and semi-active suspension*. Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania, 10, <<https://doi.org/10.3846/mla.2018.6050>>

Automobilių pakabos gedimai yra viena iš dažniausių priežasčių, dėl kurių automobilių naudotojai turi lankytis automobilių remonto įmonėse. Automobilių pakabos elementų gedimų dažnumas priklauso nuo elementų kokybės, kelių būklės, vairavimo būdo, techninės priežiūros. Automobilių remonto darbų šioje srityje kiekis nekinta dėl hibridinių ir elektrinių automobilių įėjimo į rinką, nes jų pakabos irgi dėvisi. Visų transporto priemonių pakabos turi būti tvarkingos, taip užtikrinant eismo saugumą keliuose.

Tyrimo objektas – pakabos komponentų kokybės parametrų raiška lengvuosiuose automobiliuose.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti pakabos komponentų kokybės parametrų raišką lengvuosiuose automobiliuose.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti važiuoklės detalių gedimų diagnozavimo analizę.
2. Atlikti tyrimą, kokie pakabos detalių gedimai yra dažniausiai pasitaikantys.
3. Ištirti priežastis, kas priverčia automobilių naudotojus kreiptis į remonto dirbtuves automobilio pakabos remontui.

Pakabos komponentų gedimų analizė

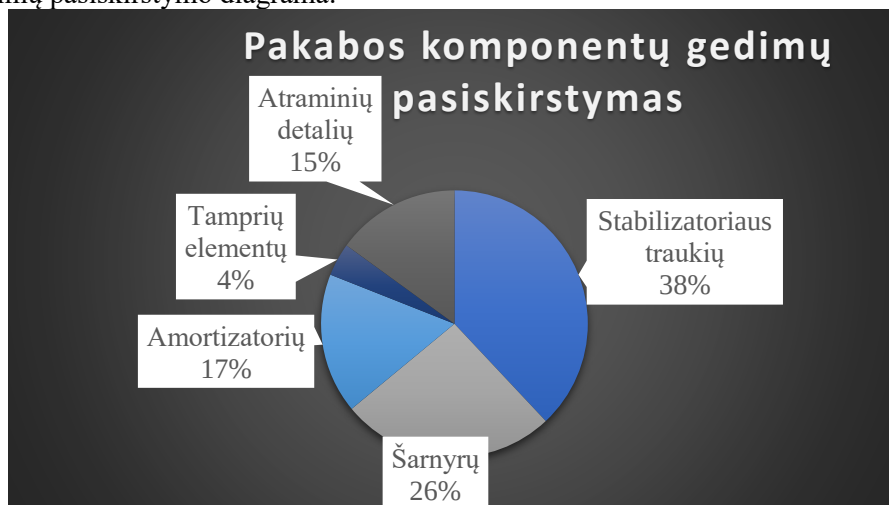
Pakabos komponentų gedimus galima diagnozuoti vizualiai, pagal skleidžiamą garsą, bandomuoju važiavimu, naudojant pakabos tikrinimo standus ar vibracijų jutiklius ant pakabos elementų (Balaji, 2023). Jeigu vizualiai randama deformuota detalė, tai ji turi būtinai būti pakeista, nes pasikeičia transporto priemonės ratų padėtis. Pagal skleidžiamą garsą galima nustatyti, kurioje transporto priemonės pusėje yra gedimas, bei apytikslę gedimo priežastį. Jeigu transporto priemonė neskleidžia pašalinių garsų, vizualiai nesimato gedimų, tai transporto priemonė pakeliama ir ieškoma laisvumų važiuoklės sandaroje. Automobilį pakėlus, pakabos elementai sustoja ne savo darbinėse padėtyse, todėl ne visada galima pastebėti laisvumus. Pakabos laisvumus geriausiai yra tikrinti darbinėje pakabos padėtyje, naudojant tam skirtus standus (2 pav.).



2 pav. Ašių laisvumo detektorius PMS 3.5

Šaltinis: Baltechnika, Važiuklės tikrinimo standai, 2023 Prieiga per internetą <<https://baltechnika.lt/vaziukles-tikrinimo-standai/>>

Atlikus 5 įmonių, užsiimančių važiuoklės remonto darbais Alytuje, pateiktų duomenų analizę buvo nustatyta, jog dažniausiai atvyksta transporto priemonės, turinčios stabilizatoriaus traukių gedimus. Taip pat atvyksta dėl amortizatorių, šarnyrų, tamprių elementų bei atraminių detalių gedimo. Su tokiais gedimais dažniausiai atvyksta transporto priemonės, pagamintos daugiau nei prieš 10 metų. 3 paveiksle pateikta važiuoklės gedimų pasiskirstymo diagrama.



3 pav. Pakabos komponentų gedimų pasiskirstymo diagrama

Šaltinis: sudaryta autorių

Amortizatorių ir jų gedimų analizė

Amortizatorius yra labai svarbi pakabos detalė, nes ji turi slopinti vibracijas, kas užtikrina rato kontaktą su kelio danga, neleidžia transporto priemonės padangai atkilti nuo kelio dangos dėl kelio nelygumų. Amortizatoriai būna hidrauliniai, hidrauliniai-dujiniai bei dujiniai. Kartu amortizatoriai garantuoja geresnį padangos sukibimą su kelio danga, stabilumą posūkiuose (Ferik, 2023). 3 paveiksle parodytas Renault Scenic 2 kartos priekinis naudotas amortizatoriaus komplektas.



3 pav. Naudotas priekinis amortizatoriaus komplektas

Šaltinis: sudaryta autorių

Dažniausiai naudojami yra hidrauliniai amortizatoriai, nes jie yra pigesni bei kompaktiškesni. Automobiliuose su hidrauliniiais amortizatoriais būna pagrinde amortizatoriaus komplektai, jie sudaryti iš amortizatoriaus, guminės atramos, guolio ir spyruoklės. Spyruoklės išlaiko transporto priemonės masę ir efektyviai mažina virpėjimus, kurie atsiranda važiuojant nelygia kelio danga (Motofocus.lt, 2017). Guminė atrama neleidžia transporto priemonei perduoti rato vibracijų; tai yra dėl to, jog ji sugeria tiek staigius, tiek smulkius kelio nelygumus, o guolis garantuoja amortizatoriaus sukimosi sklandumą. 4 paveiksle parodytas Renault Scenic 2 kartos priekinis amortizatoriaus gedimas, kai prasiskverbia alyva.



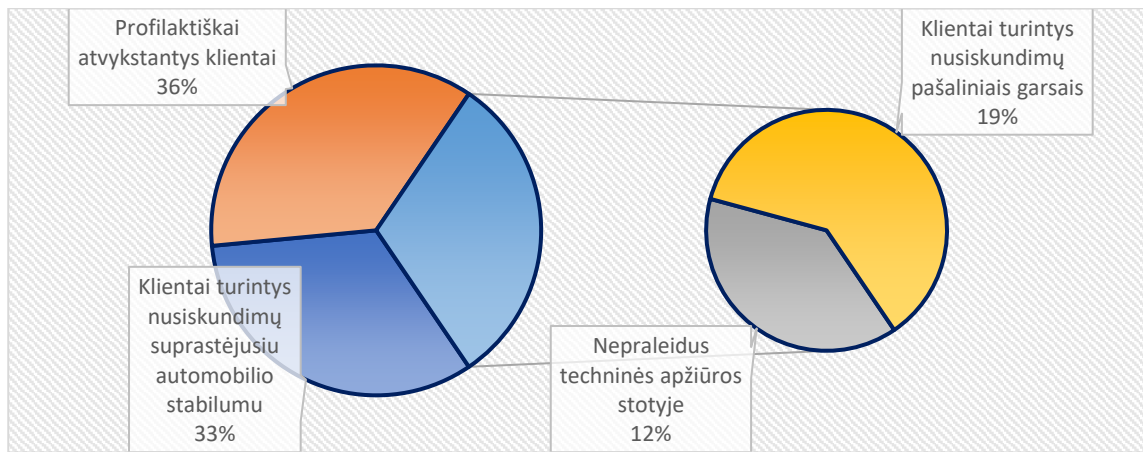
4 pav. Amortizatoriaus gedimas, kai prasiskverbia alyva

Šaltinis: sudaryta autorių

Būtent tokio tipo amortizatoriai dažniausiai būna keičiami dėl:

- alyvos prasiskverbimo (4 pav.);
- pažeistos sandarinimo gumos ir patekusių nuosėdų, kurios pažeidžia cilindrą;
- deformacijų, kurios nutinka avariniu atveju arba važiuojant dideliu greičiu per kelio nelygumą;
- korozijos požymių;
- pailgėjusio stabdymo kelio;
- automobilio svyravimo posūkiuose.

Amortizatorius rekomenduojama tikrinti kas 20000 km. Amortizatoriai būna tikrinami specialiuose stenduose. Vidutiniškai amortizatorių keitimo periodas būna tarp 80000km ir 100000 km., amortizatoriai keičiami poromis, jog naujas amortizatorius nebūtų apkraunamas naudoto amortizatoriaus nuostoliais. Amortizatorių ilgaamžiškumą nulemia kelio dangos būklė, automobilio eksploatavimo ypatumai, kitų automobilių važiuoklės komponentų būklė ir pačio amortizatoriaus kokybė (Dixon, 2007).



5 pav. Transporto priemonių su amortizatorių gedimu, atvykimo priežasčių diagrama

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus tyrimą buvo nustatyta, jog 36% dėl amortizatorių gedimų atvykstančių transporto priemonių vartotojų atvažiuoja profilaktiškai pasitikrinti transporto priemonę. 5 paveiksle pateikta transporto priemonių su amortizatorių gedimu atvykimo priežasčių diagrama.

Stabilizatorių traukių ir jų gedimų analizė

Stabilizatoriaus strypas naudojamas tam, kad kėbulas pernelyg nepasvirtų staigiuose posūkiuose. Jis pagamintas iš spyruoklinio plieno, pritvirtintas prie rėmo (per gumines įvoves), o galai - per traukes prie apatinių pakabos svirčių arba amortizatorių apatinės dalies. Kai transporto priemonė įsuka į posūkį, dėl išcentrinės jėgos kėbulo išorė žemėja, o kėbulo vidus pakyla, o tuo metu sukamas stabilizatoriaus strypas. Strypo atsparumas šiam sukimui riboja kėbulo pasvirimą (Palma, 2002). Stabilizatoriaus strypas didina automobilio stabilumą, važiuojant nelygia kelio danga. Pats stabilizatoriaus strypas yra pakankamai ilgaamžis, bet traukės, jį jungiančios su pakabos elementais, susidėvi. Stabilizatoriaus traukės antgaliai yra šarnyrai, kurių tarnavimo laikas labai priklauso nuo eksploataavimo savybių, amortizatorių būklės, stabilizatoriaus strypo pasipriešinimo sukimuisi ir pačios traukės kokybės. 6 paveiksle pateikta Renault Scenic 2 kartos naudota stabilizatoriaus traukė.



6 pav. Naudota stabilizatoriaus traukė

Šaltinis: sudaryta autorių

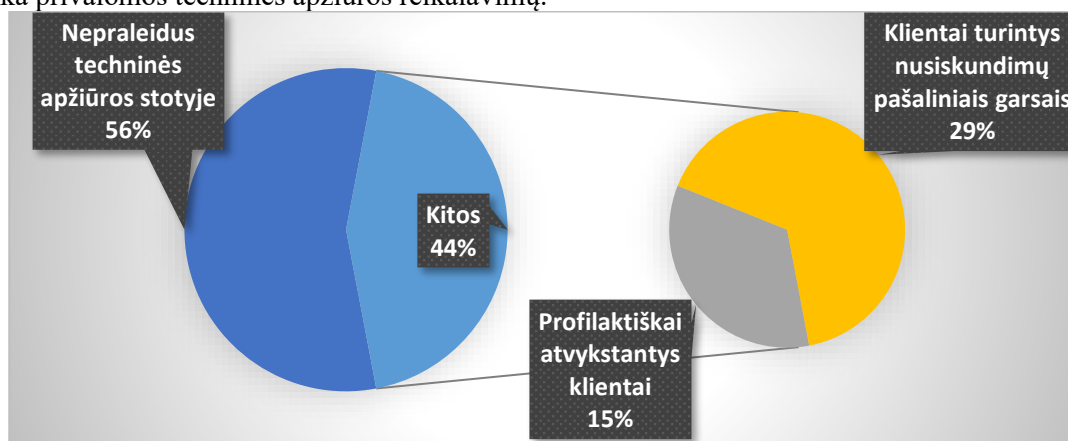
Stabilizatoriaus traukių gedimas būna, kai ši traukė turi laisvumą, kas sukelia triukšmus pakaboje. Šis gedimas geriausiai pastebimas naudojant pakabos tikrinimo stendą (2 pav.), išėmus stabilizatoriaus traukę arba pajudinus ranka, automobiliui stovint darbiname aukštyje (kad nebūtų įvaržų). Ši detalė sugenda ir dėl pažeistos sandarinimo gumos. Laiku neatlikus šios traukės keitimo, ji gali nutrūkti (7 pav.).



7 pav. Sugedusi stabilizatoriaus traukė

Šaltinis: sudaryta autorių

Išanalizavus įmonių pateiktus duomenis buvo nustatyta, jog 56% dėl stabilizatoriaus traukių gedimų atvykstančių transporto priemonių, atvažiuoja tiesiai iš techninės apžiūros stočių, kai transporto priemonės neatitinka privalomos techninės apžiūros reikalavimų.



8 pav. Transporto priemonių su stabilizatoriaus traukių gedimu atvykimo priežasčių diagrama
Šaltinis: sudaryta autorių

8 paveiksle pateikta transporto priemonių su stabilizatoriaus traukių gedimu atvykimo priežasčių diagrama.

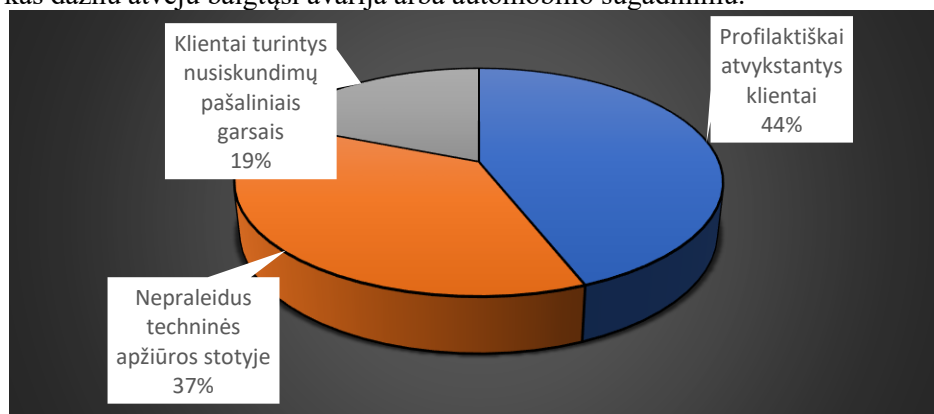
Šarnyrų ir jų gedimų analizė

Šarnyrai turi užtikrinti sklandų judėjimą tarp pakabos elementų, perduodant jėgas reikalingas valdyti automobilį, išlaikyti reikiamus ratų kampus bei neturėti jokio laisvumo (Novikov, 2020). Šarnyrai gali būti įpresuojami, prisukami keliais varžtais arba pagaminti, jog nebūtų keičiami po vieną, o būtent su visa svirtimi. 9 paveiksle pateiktas Renault Scenic 2 kartos naudotas įpresuojamas šarnyras.



9 pav. Renault Scenic 2 kartos naudotas įpresuojamas šarnyras
Šaltinis: sudaryta autorių

Šarnyrai keičiami dėl laisvumo, kuris atsiranda detalei dėvintis. Taip pat šarnyrai gali būti keičiami dėl pažeistos sandarinimo gumos, per kurią patenka nešvarumai, drėgmė, dėl ko prasideda korozija, kuri pažeidžia detalę. Pakabos šarnyrams turi būti skiriamas labai didelis dėmesys, nes, jų laiku nepakeitus, jie gali nutrūkti, kas dažnu atveju baigtųsi avarija arba automobilio sugadinimu.



10 pav. Transporto priemonių su šarnyrų gedimu atvykimo priežasčių diagrama
Šaltinis: sudaryta autorių

Išanalizavus įmonių pateiktus duomenis buvo nustatyta, jog 44% dėl šarnyrų gedimų atvykstančių transporto priemonių atvažiuoja profilaktiškai pasitikrinti transporto priemonę. 10 paveiksle pateikta transporto priemonių su šarnyrų gedimu atvykimo priežasčių diagrama.

Išvados

1. Įvertinus važiuoklės detalių gedimų diagnozavimo būdus, gauta, jog važiuoklės gedimus galima nustatyti naudojant specialius standus, pagal garso pobūdį, pagal garso sklaidimo vietą, vizualiai patikrinus, ar detalės nedeformuotos, ar nėra sandarinimo gumų pažeidimų bei alyvos prasiskverbimų.
2. Išanalizavus įmonių pateiktus duomenis buvo nustatyta, kokie važiuoklės detalių gedimai yra dažniausiai pasitaikantys. Nustatyta, jog dažniausiai pasitaiko stabilizatoriaus traukių gedimai (38 proc.), antri pagal dažnumą šarnyrų (26 %), o po jų - amortizatorių (17 %) gedimai.
3. Nustačius priežastis, dėl ko atvažiuoja automobiliai, turintys dažniausiai pasitaikančius važiuoklės gedimus, rasta, jog dėl stabilizatoriaus traukių gedimo dažniausiai atvažiuoja klientai tiesiai iš techninės apžiūros stočių (56 %). Dėl amortizatorių gedimo atvažiuoja profilaktiškai atvykstantys klientai, taip pat dažniausiai atvyksta klientai ir dėl šarnyrų gedimų.

Literatūra

1. Balaji P. A., Venkatesh S., N. V., S. (2023). Fault Diagnosis of Suspension System Based on Spectrogram Image and Vision Transformer. *Eksplotacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability 2024*: 26(1). Prieiga per internetą: <http://doi.org/10.17531/ein/174860>.
2. Baltechnika. (2023). Važiuklės tikrinimo standai. Prieiga per internetą: <https://baltechnika.lt/vaziukles-tikrinimo-standai/>.
3. Dixon J., C. (2007). The shock absorber handbook. SAE International.
4. Ferik, R., Yazici, M., Kurtulus, O. (2023). Investigation of Magnetorheological Shock Absorber Used in Semi-Active Suspension. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 23, 381-387. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.55549/epstem.1371754>.
5. Motofocus.lt. (2017). Automobilio spyruoklių veikimo principas. Prieiga per internetą: <https://motofocus.lt/naujienos/6135>.
6. Novikov A. N. et al. (2020). New Way To Determine The Technical Condition Of Ball Joints. *IOP Conf.* Prieiga per internetą: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/786/1/012079>.
7. Oficialiosios statistikos portalas. (2023). Individualių lengvųjų automobilių skaičius metų pabaigoje. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R011>.
8. Palma E.S., Santos E. S. (2002). Fatigue damage analysis in an automobile stabilizer bar. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. Prieiga per internetą: doi:10.1243/095440702321031414.
9. Surblys, V., & Sokolovskij, E. (2018). The research of passenger car passive and semi-active suspension. *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3846/mla.2018.6050>.

EXPRESSION OF SUSPENSION COMPONENT QUALITY PARAMETERS IN CARS

Summary

The suspension system is a vital component of a car that aims to improve stability and good handling on the road when the vehicle is moving in rough road conditions. Various load conditions, longer operation and continuous absorption of road shocks and wear of internal parts can lead to defects in the suspension system. If repairs are not carried out in time, these failures can be the cause of other suspension elements or other car parts failures, which can cause the system to malfunction and endanger the safety of road users. Checking the condition of suspension elements is inseparable from car maintenance. Therefore, there is a need to ensure that the suspension parts are in good order and meet the necessary criteria in vehicle technical inspections.

Key words: suspension, shock absorber, suspension faults, stabilizer bar.

STABDŽIŲ SISTEMOS KOMPONENTŲ KOKYBĖS PARAMETRŲ RAIŠKA HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIUOSE

Ignas Balinskas, Marius Mažeika
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Šiais laikais įprastus automobilius su vidaus degimo varikliais po truputį keičia hibridiniai ir elektriniai automobiliai. Toyota Prius - tai puikus pavyzdys, kai hibridinis automobilis dėl savo patikimumo, sąlyginai paprastos konstrukcijos ir mažo suvartojimų degalų kiekio tampa vienas iš populiariausių automobilių tiek pavėžėjo paslaugą teikiančių, tiek asmeninėms reikmėms naudojančių žmonių tarpe. Šios transporto priemonės valdytojams tenka ieškoti ir pasirūpinti einamuoju remontu ir technine priežiūra. Atliekant vienos iš pagrindinių aktyvių saugos sistemos - stabdžių - aptarnavimą, svarbu suprasti ir atsižvelgti į pagrindinius elementus ir jų veikimo principus. Stabdžių diskai, trinkelės ir skystis turi būti pagamintas iš kokybiškų medžiagų – tokių, kurias nustato gamintojas. Regeneracijos sistema privalo stabdyti laiku ir stabdymo energiją perduoti į akumuliatorių bateriją. Taip yra užtikrinamas elementų ilgaamžiškumas, nešvaistoma energija ir, žinoma, vairuotojo ir keleivių saugumas.

Reikšminiai žodžiai: Hibridinis automobilis, stabdžių sistema, regeneracijos sistema.

Įvadas

Stabdžių sistema skirta važiuojančių automobilių greičiui sumažinti arba visiškai jiems sustabdyti. Nuo stabdymo efektyvumo priklauso pagrindinės automobilių dinaminės savybės ir darbo našumas. Kuo intensyviau galima stabdyti automobilį, tuo didesnis saugus greitis, ir automobilis gali važinėti didesniu greičiu. Įprastuose automobiliuose stabdymo energija yra paverčiama į trinties šiluminę energiją, tokiu būdu 100 procentų sukauptos energijos yra iššvaistoma, eikvojami dylantys stabdžių sistemos komponentai, teršiama aplinka. Hibridiniuose automobiliuose, paspaudus stabdžių pedalą, šis stabdymas pasireiškia elektros variklio sukimusi į priešingą pusę, t.y. elektros variklis generuoja neigiamą sukimo momentą ir elgiasi kaip generatorius, todėl transporto priemonė lėtėja. Šis regeneracinis stabdymas padeda apie 70 proc. energijos sukaupti baterijoje (Pandranki, 2023). Sukaupta energija panaudojama transporto priemonei įsibėgėti ar judėti. Tokiu būdu yra užtikrinama mažesnė aplinkos tarša kietosiomis dalelėmis (apie 80 proc.) nuo dylančių stabdžių sistemos komponentų (Hagino, 2023). Tačiau saugumo sumetimais vis tiek reikalingas mechaninis stabdis. Priežastis – su elektrine pavaros sistema negalima pasiekti maksimalaus reikiamo stabdymo momento. Pavyzdžiui, įprastai elektrinei transporto priemonei, kurios masė 1700 kg, važiuojant 140 km/h greičiu, reikalinga 713 kW stabdymo galia, jei saugumo sumetimais visiškai išnaudojama 1,1 sukibimo tarp padangos ir kelio vertė. Taigi reikiama stabdymo galia normaliai varomoms transporto priemonėms yra 3–8 kartus didesnė už vardinę varomąją galią (Holtmann, 2023). Regeneracinio stabdymo efektyvumas gali skirtis stabdant, atsižvelgiant į kai kurių elektromobilių modelių nustatymus. Pernelyg didelis regeneracinio stabdymo efektyvumas gali užtikrinti didelį energijos grąžinimą į akumuliatorių, tačiau dėl greito lėtėjimo nesuteikia pakankamai komforto vairuotojui (Berjoza, 2022). Nuo regeneracinio stabdymo nustatymų priklauso ir stabdžių sistemos dylančių komponentų darbo rodikliai, kas vėliau gali lemti ir stabdžių sistemos gedimus.

Tyrimo objektas – hibridinių automobilių stabdžių sistemos ilgaamžiškumo analizė.

Tyrimo tikslas - ištirti hibridinės pavaros įtaką automobilių stabdžių sistemos komponentams, siekiant užtikrinti ilgaamžiškumą ir efektyvumą.

Tyrimo uždaviniai

1. Atlikti hibridinių automobilių stabdžių sistemos veikimo analizę.
2. Apžvelgti hibridinių automobilių stabdžių sistemos dažniausiai pasitaikančius gedimus.
3. Atlikti dylančių stabdžių sistemų komponentų matavimus ir išanalizuoti gautus duomenis.

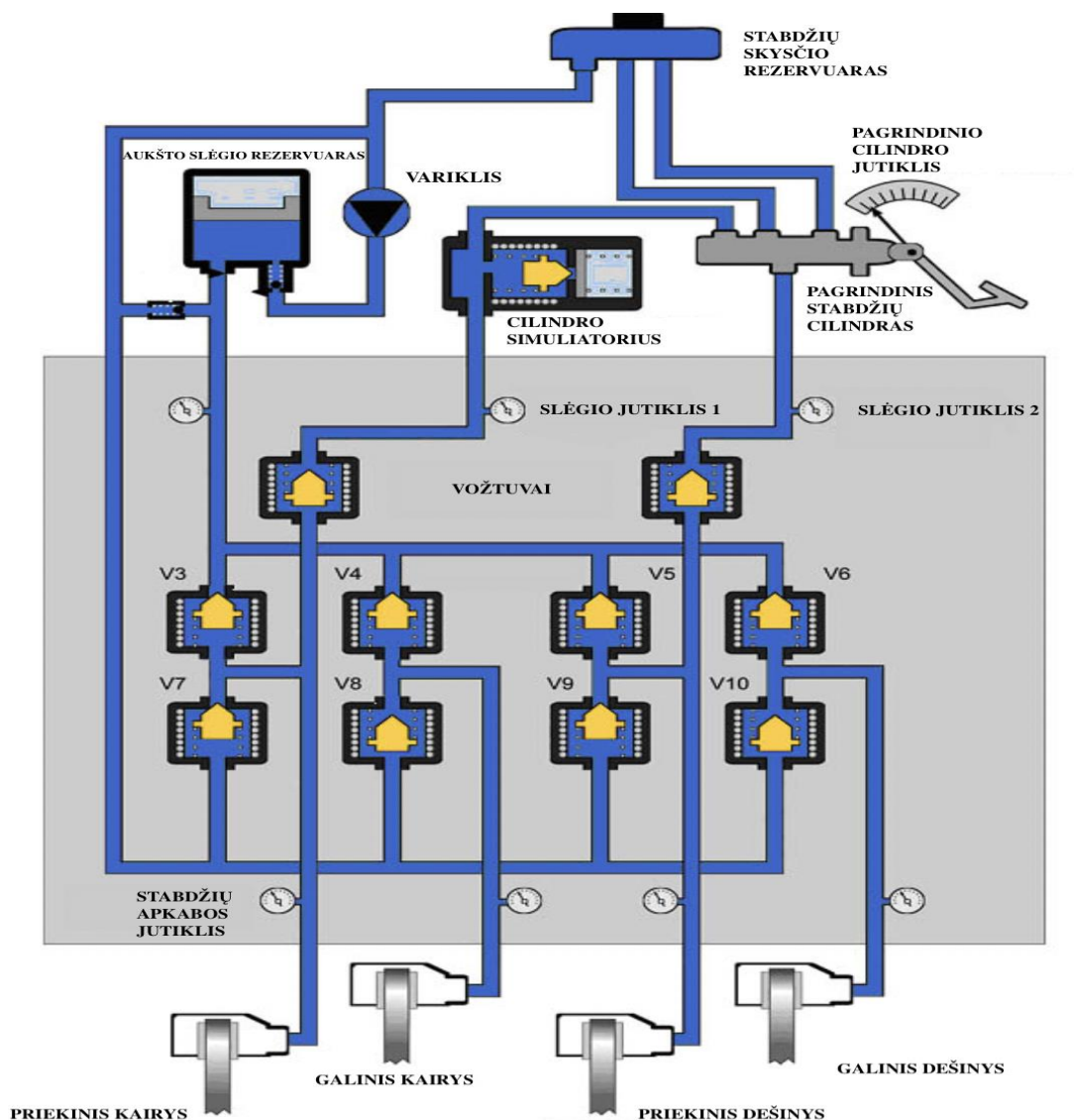
Metodai

- Analizės metodu atliekama hibridinių automobilių stabdžių sistemų ir gedimų apžvalga.
- Eksperimentiniu ir vertinimo metodais nustatytos dylančių stabdžių dalių dėvėjimosi charakteristikos.

1. Toyota Hybrid System (THS) stabdymo sistemos veikimo principas

Toyota hibridiniai automobiliai yra vieni iš populiariausių Europos rinkoje (Statista.com, 2021). Toyota buvo pripažinta kurianti pažangiausias hibridines sistemas. Konkrečiai, jie sukūrė ir įdiegė Toyota Hybrid sistemą (THS), kuri sujungia benzininį variklį ir elektrinį variklį, o privalumas – nereikalingas išorinis įkrovimas. THS sistema pasiekia beveik dvigubai didesnę degalų efektyvumą nei įprastiniai benzininiai

varikliai (Constans, 2014). Ši sistema yra naudojama ir Toyota Prius automobiliuose. Transporto priemonės valdytoji paspaudus pagrindinio stabdžio pedalą atitinkama jėga ir tam tikru greičiu, pagrindiniame cilindre sukuriamas spaudimas, kuris yra išmatuojamas. Šie duomenys siunčiami į „Skid“ valdymo modulį. Modulis nusprendžia, ar bus naudojami hidrauliniai stabdžiai, ar stabdymas bus atliekamas elektrinio variklio – generatoriaus pagalba. Vietoje įprasto stabdžių stiprintuvo šioje sistemoje yra naudojamas aukšto slėgio variklis, kuris visuomet palaiko reikalingą stabdžių skysčio slėgį rezervuare. Modulius nusprendęs stabdymą atlikti hidrauline sistema, iš šio rezervuaro panaudojamas reikalingas stabdžių skysčio kiekis, kuris linijomis patenka į stabdymo apkabą. Kitu atveju stabdymas pasireiškia elektros variklio sukimusi į priešingą pusę, t.y. elektros variklis generuoja neigiamą sukimo momentą ir elgiasi kaip generatorius, todėl transporto priemonė lėtėja. Svarbu suprasti, kad ši sistema darbo metu nėra tiesiogiai sujungta. Sugedus vienam iš elektrinių sistemos elementų, įjungiamas avarinis hidraulinis stabdymas tik priekiniams ratams (1 pav.).



1 pav. THS stabdžių schema.

Šaltinis: PMM. Braking system repair issues – Toyota Prius 2012. Prieiga per internetą:
<<https://pmmonline.co.uk/technical/braking-system-repair-issues-toyota-prius-2004-09/>>

THS dylančių komponentų nusidėvėjimas

Stabdymo metu šioje sistemoje trinkelės ir diskai dėvisi mažiau. Taip yra dėl energijos pasiskirstymo, nes apie 70 proc. energijos sugrąžinama į bateriją (Pandranki, 2023). Hibridiniai automobiliai, naudodami regeneracinį stabdymą, turi ilgesnį stabdžių trinkelėlių tarnavimo laikotarpį. Regeneracinis stabdymas daugiausiai naudoja elektros variklius, o ne mechaninius stabdymo komponentus, tokius kaip stabdžių trinkelės ir diskai. Regeneracinis stabdymas leidžia automobiliui sulėtėti, o energija, kuri paprastai būtų iššvaistyta kaip šiluma, stabdymo metu yra sugrąžinama į bateriją. Dėl šios priežasties hibridiniuose automobiliuose stabdžių trinkelėlių keitimo intervalas yra ilgesnis už įprastų automobilių. Kai kuriais atvejais

gali kilti problemų su elektros variklių - generatorių veikimu, kai regeneracinis stabdymas veikia netinkamai – energija negražinama į bateriją. Taip pat galimi gedimai ir mechaninėje stabdžių sistemoje, kai nuo retai naudojamų hidraulinių stabdžių užsikerta kabės kreipiančiosios.

Elektroninės THS stabdžių sistemos dalies gedimo požymiai

Šios stabdymo sistemos gedimas nustatomas trečiosios kartos Toyota Prius automobiliams. Transporto priemonė, važiuodama nelygia kelio danga, praranda tolygų stabdymą. ABS sistema dėl patirtų vibracijų daug kartų įjunginama ir išjunginama, todėl nėra užtikrinamas tolygus stabdymas. Trečiosios kartos Prius automobiliams šis gedimas buvo pripažintas Toyota gamintojo kaip gamyklinis brokas (Terry, 2018) . Šiuo metu problema yra ištaisyta ir jokių panašių gedimų nėra užfiksuojama.

Šioje stabdžių sistemoje nėra naudojamas įprastas stabdžių stiprintuvas, kuris būtų veikiamas tiesiogiai vairuotojo kojos paspaudimu į pedalą. Čia elektrinis aukšto slėgio variklis sukuria pastovų spaudimą stabdžių skysčio rezervuare, kuris panaudojamas įsijungus hidraulinei sistemai. Nuolatos veikiantis aukšto slėgio variklis greičiau dėvisi ir laikui bėgant sugenda. Šio gedimo remontas yra pakankamai brangus, nes reikia keisti visą stabdžių bloką.

1 lentelė

THS stabdžių sistemos privalumai ir trūkumai

Privalumai	Trūkumai
Mažesnės degalų sąnaudos	Sudėtingesnis veikimo principas
Mažesnis stabdžių trinkelėlių ir diskų nusidėvėjimas	Neįprastas darbinio stabdžio pedalo pojūtis
Mažesnės eksploatacinės išlaidos	Koroduojantys elementai
Didesnis automobilio efektyvumas	Važiuojant mažesniu greičiu baterija įkraunama mažiau

Šaltinis: parengta autorių

THS stabdžių trinkelėlių ir diskų nusidėvėjimo tyrimas

Dylančių stabdžių komponentai buvo tirti automobilių servise, kuris aptarnauja pavėžėjimo ir automobilių nuomos paslaugas teikiančias įmones. Matavimams atlikti buvo naudojamas elektroninis slankmatis Goobay Digital Caliper 150, kurio maksimali paklaida yra 30 μm (pagal DIN 862)(PC-Cabler, 2023). Matavimams buvo pasirinkta rida 40000 km, atsižvelgiant į regeneracinių energijos sistemų neturinčių automobilių stabdžių sistemos komponentų keitimo tendencijas. Automobiliams tik su vidaus degimo varikliais rekomenduojamas stabdžių trinkelėlių ir diskų keitimo intervalas yra kas 40 - 60 tūkst. km. Šis intervalas gali kisti, priklausomai nuo eksploataavimo sąlygų ir vairuotojo važiavimo stiliaus. Tačiau Toyota Prius šis intervalas padidėja net nuo 80 – 160 tūkst. km. Tyrimo metu buvo matuojamos 4 priekinių stabdžių trinkelės, apskaičiuojant jų nudilimo vidurkį, ir 2 priekiniai diskai, apskaičiuojant jų nudilimo vidurkis.

Trinkelėlių nudilimo vidurkiui apskaičiuoti buvo naudojama 1 lygtis:

$$TH_{tr\ n} - (TH_{tr1} + TH_{tr2} + TH_{tr3} + TH_{tr4})/4 = S_{tr\ vid} \quad (1)$$

čia: $TH_{tr\ n}$ – naujos trinkelės storis (mm); $TH_{tr\ 1...4}$ – Matuojamos trinkelės storis (mm); $S_{tr\ vid}$ – apskaičiuotas vidutinis trinkelės sudilimas (mm).

Diskų nudilimo vidurkiui skaičiuoti naudojama 2 lygtis:

$$TH_{d\ n} - (TH_{d1} + TH_{d2})/2 = S_{d\ vid} \quad (2)$$

čia: $TH_{d\ n}$ – naujo disko storis (mm); $TH_{d\ 1,2}$ – matuojamo disko storis (mm); $S_{d\ vid}$ – apskaičiuotas vidutinis disko sudilimas (mm).

Atlikus pirmo pasirinkto automobilio priekinės ašies stabdžių diskų ir trinkelėlių matavimus nustatyta, kad trinkelėlių likutinis vidurkis yra 16,22 mm. Naujų trinkelėlių storis yra 17,5 mm. Bendra trinkelės nusidėvėjimo dalis – 1,28 mm. Disko storis išliko praktiškai nepakitęs ir nenusidėvėjęs – 24,98 mm. Naujo disko storis - 25 mm (Brembo 2023). Šis nusidėvėjimas pasiektas eksploatuojant automobilį 40 tūkst. km. Matavimai buvo atlikti 5 hibridiniams automobiliams Toyota Prius ir 5 dyzeliniams VW Golf automobiliams esant panašioms ridoms po stabdžių komponentų pakeitimo. Užfiksuoti duomenys surašyti į 2 ir 3 lenteles ir atvaizduoti grafiškai 2 ir 3 paveiksluose.

2 lentelė

Toyota Prius stabdžių diskų ir trinkelėlių nusidėvėjimas

Regeneracinę stabdžių sistemą turinti transporto priemonė	Nuvažiutas atstumas, km	Priekinio disko likutinis storis, mm	Priekinių trinkelėlių likutinis storis, mm	Naujo disko storis, mm	Naujų trinkelėlių storis, mm	Skirtumas naujo ir naudoto disko, mm	Skirtumas naujų ir naudotų trinkelėlių, mm
A Prius	40105	24,98	16,22	25,00	17,50	0,02	1,28
B Prius	42041	24,93	15,92	25,00	17,50	0,07	1,58

Regeneracinę stabdžių sistemą turinti transporto priemonė	Nuvažiutas atstumas, km	Priekinio disko likutinis storis, mm	Priekinių trinkelų likutinis storis, mm	Naujo disko storis, mm	Naujų trinkelų storis, mm	Skirtumas naujo ir naudoto disko, mm	Skirtumas naujų ir naudotų trinkelų, mm
C Prius	40953	24,97	16,17	25,00	17,50	0,03	1,33
D Prius	39247	24,90	15,85	25,00	17,50	0,10	1,65
E Prius	40318	24,95	16,10	25,00	17,50	0,05	1,40

Šaltinis: parengta autorių

Atliekant gautų duomenų analizę matoma, kad Toyota Prius per 40000 km pasiekia nedidelio nusidėvėjimo ribą priekinių stabdžių dylančiuose komponentuose. Retesnis naudojimas hidrauline sistema gali turėti ir neigiamos įtakos stabdžių apkabos cilindriui, kreipiančiosioms, diskui, trinkelėms. Taip nutinka dėl atsiradusios korozijos ant elementų paviršiaus ir žemesnės temperatūros darbo metu, kuri nėra pakankama, kad nudegintų trinties paviršiuose besikaupiančius nešvarumus. Regeneracinio stabdymo metu šiluminė energija yra mažesnė dėl mažesnių jėgų tarp trinkelės ir stabdžių disko (Belhocine, 2013).

3 lentelė

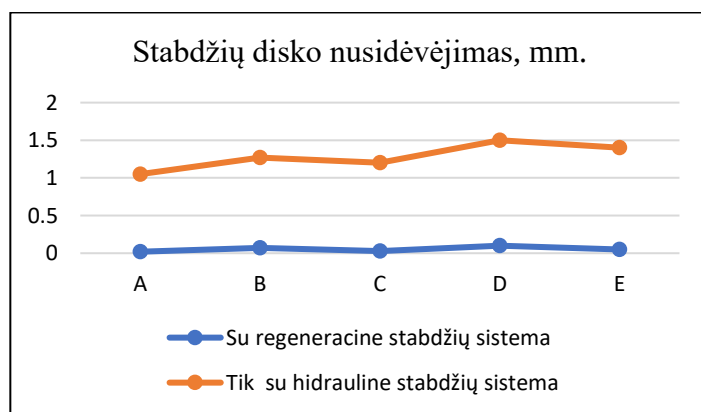
VW Golf stabdžių diskų ir trinkelų nusidėvėjimas

Tik hidraulinę stabdžių sistemą turinti transporto priemonė	Nuvažiutas atstumas, km.	Priekinio disko likutinis storis, mm	Priekinių trinkelų likutinis storis, mm	Naujo disko storis, mm	Naujų trinkelų storis, mm	Skirtumas naujo ir naudoto disko, mm	Skirtumas naujų ir naudotų trinkelų, mm
A Golf	38425	20,95	15,31	22,00	18,70	1,05	3,39
B Golf	40053	20,73	15,44	22,00	18,70	1,27	3,26
C Golf	41774	20,80	14,53	22,00	18,70	1,20	4,17
D Golf	39630	20,95	14,72	22,00	18,70	1,50	3,98
E Golf	40421	20,60	15,20	22,00	18,70	1,40	3,50

Šaltinis: parengta autorių

Kaip matyti iš atliktų matavimų 3 lentelėje, įprastiems automobiliams, neturintiems energijos regeneravimo sistemų, toks nuvažiuotas atstumas verčia nuodugniai tikrinti trinkelų ir stabdžių diskų būklę. Tačiau Toyota Prius prie tokios ridos dar tik pasiekta nedidelio nusidėvėjimo riba. Automobilių gamintojai dylančių stabdžių sistemos komponentų patikrą nurodo atlikti kiekvieno techninio aptarnavimo metu, tai šiuo atveju ne rečiau kaip kas 15000 km. Tai galioja Toyota Prius ir VW Golf automobiliams (Autodata, 2023).

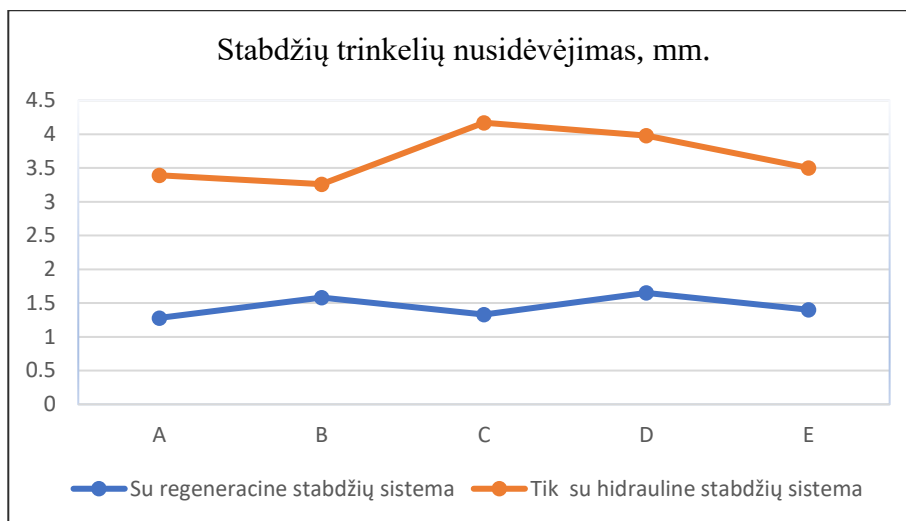
Analizuojant ryšį tarp diskų ir trinkelų dilimo intensyvumo (2 ir 3 pav.), hibridiniame automobilyje pastebima didelė dilimo intensyvumo priklausomybė tarp trinkelų ir disko, kas parodo, kad susidėvėjimas gali būti pakankamai lengvai prognozuojamas.



2 pav. Stabdžių disko nusidėvėjimo palyginimas.

Šaltinis: parengta autorių

Automobilyje be regeneracinės sistemos pastebimi didesni kreivių svyravimų nesutapimai, kas parodo, kad skirtinguose automobiliuose skirtingai dėvėsi atskiri stabdžių komponentai, kas gali būti nulemta eksploatacinių veiksnių (Zum Hagen, 2019).



3 pav. Stabdžių trinkelų nusidėvėjimo palyginimas.

Šaltinis: parengta autorių

Regeneracinio stabdymo sistema pastebimai padeda sumažinti stabdymo elementų nusidėvėjimą (2 pav. ir 3 pav.)

Išvados

1. Apžvelgtas ir paaiškintas Toyota Hybrid System regeneracinio stabdymo veikimo principas, kuris padeda susigrąžinti iki 70 proc. stabdymo energijos atgal į bateriją.
2. Išanalizuotas elektroninės dalies – ABS modulio gedimo požymis, kai automobilis atlieka stabdymą netolygiai.
3. Regeneracinis stabdymas sumažina stabdžių trinkelų ir diskų nusidėvėjimą, bet mažesnė temperatūra stabdymo metu turi įtakos stabdžių elementų korodavimui.

Literatūra

1. Autodata; 2023, interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28], <https://workshop.autodata-group.com/login?destination=node>
2. Belhocine, A., Bouchetara, M.; Temperature and Thermal Stresses of Vehicles Gray Cast Brake; Journal of Applied Research and Technology; 674/682; 2013.
3. Berjoza, D., Pirs, V., Jurgena, I.; Research into the Regenerative Braking of an Electric Car in Urban Driving. World Electr. Veh. J. 2022, 13,202. <https://doi.org/10.3390/wevj13110202>
4. Brembo; Brake Disc Painted 09.B520.112023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.bremboparts.com/europe/en/catalogue/disc/09-B520-11>
5. Car Parts; 2023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://autopublic.org/en/carpart/43512-47030-toyota-prius-w20-2005-2011-hatchback-brake-disc-front-AP1642259521#>
6. Constans, E., Salas Acosta, M., Kadlowec, J., Angelone, B. L.; Control Strategy for a Benchtop Hybrid Powertrain; Paper presented at 2014 ASEE Annual Conference & Exposition, Indianapolis, Indiana. 10.18260/1-2—20210
7. Hagino, H.; Investigation of Brake-Wear Particle Emissions from Regenerative-Friction Brake Coordination Systems via Dynamometer Testing; 2023 2023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://doi.org/10.20944/preprints202311.1507.v1>
8. Holtmann, C.; Köhler, C.; Weber, C.; Rinderknecht, F. The Hybrid Brake Model and Its Validation. Electronics 2023, 12, 2632. <https://doi.org/10.3390/electronics12122632>
9. Pandranki, P. K.; Design Analysis of Regenerative Braking System; International Journal for Multidisciplinary Research; 2023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.researchgate.net/publication/373448421>
10. PCKABLER, 2023 interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://pc-kabler.dk/en/other-tools/98822-digital-caliper-150-nbsp-mm-6-inch-lt-br-gt-for-outside-inside-depth-and-step-measuring-0-mm-150-mm.html>
11. PMM. Braking system repair issues – Toyota Prius 2012. interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://pmmonline.co.uk/technical/braking-system-repair-issues-toyota-prius-2004-09/>
12. Statista.com. Leading models of hybrid passenger cars and light commercial vehicles by new registrations in the European Union in 2021. interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] / <https://www.statista.com/statistics/972859/hybrid-vehicles-leading-models-europe/>
13. Study of Brake Wear Particle Emissions: Impact of Braking and Cruising Conditions. Environ. Sci. Technol.2019, 53, 5143–5150.
14. Terry, S. Toyota Prius Recall – Prius Brake Failure – Lexus HS 250h Recalled. 2018 TSRtime, interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://www.tsrinjurylaw.com/blog/toyota-prius-recall-prius-brake-failure-mn-car-accident-lawyer/>

15. Zum Hagen, F.H.F.; Mathissen, M.; Grabiec, T.; Hennicke, T.; Rettig, M.; Grochowicz, J.; Vogt, R.; Benter, T., On-road vehicle measurements of brake wear particle emissions, Atmospheric Environment, Volume 217, 2019, interaktyvus [žiūrėta 2023.11.28] <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116943>

DEFINITION OF QUALITY PARAMETERS OF BRAKE SYSTEM COMPONENTS IN HYBRID CARS

Summary

Nowadays, conventional cars with internal combustion engines are gradually being replaced by hybrid and electric cars. The Toyota Prius is a great example of a hybrid car that, due to its reliability, relatively simple design and low fuel consumption, becomes one of the most popular cars among people who provide a passenger service and use it for personal purposes. Operators of this vehicle are responsible for finding and arranging running repairs and maintenance. When servicing one of the main active safety systems – brake system - it is important to understand and consider the main components and how they work. Brake discs, pads, and fluid must be made of qualitative materials as specified by the manufacturer. The regeneration system must stop in time and transfer the braking energy to the battery pack. This ensures the longevity of the components, energy saving and, of course, the safety of a driver and passengers.

Key words: Hybrid car, brake system, regeneration system.

DYZELINIŲ IR ALTERNATYVIŲ DEGALŲ MIŠINIŲ PANAUDOJIMO DYZELINIUOSE VARIKLIUOSE TYRIMAS

Tomas Mickevičius, Paulius Motvydas
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikiami dyzelinių degalų ir jo mišinių su padangų pirolizės aliejumi variklio darbo ir deginių emisijos tyrimų rezultatai. Darbo tikslas buvo ištirti dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus mišiniais maitinamo dyzelinio variklio darbo ir deginių emisijos rodiklius, esant įvairiems apkrovų režimams. Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami dyzeliniu varikliu „ORUVA F1L511“. Tyrimams naudoti dyzeliniai (DD) ir jo mišiniai PPA10 ir PPA20 su padangų pirolizės aliejumi. Bandymo metu buvo matuojamos variklio valandinės degalų sąnaudos, tūrinės oro sąnaudos, variklio sukimo momentas, deginių emisija ir dūmingumas.

Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad esant žemai apkrovai, mažiausios valandinės degalų sąnaudos buvo gautos varikliui dirbant grynu dyzelinu. Didžiausios efektyviosios lyginamosios degalų sąnaudos buvo gautos varikliui veikiant dyzelino ir padangų pirolizės aliejaus PPA20 mišiniu. Esant pilnai apkrovai, panaudojus degalų mišinius PPA10 ir PPA20, variklio naudingo veikimo koeficientas buvo gautas atitinkama 3,6 % ir 4 % mažesnis, palyginti su grynais dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu. Tame pačiame režime, panaudojus dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus PPA20 mišinį variklis generavo didžiausią bendrąją azoto oksidų emisiją. Didžiausia anglies viendeginio CO emisija, varikliui dirbant pilnos apkrovos režimu, buvo gauta varikliui veikiant degalų PPA20 mišiniu (745 ppm), o mažiausios panaudojus grynus dyzelinius degalus (646 ppm). Varikliui dirbant pilnos apkrovos režime, degalų PPA20 mišiniu maitinimas variklis dūmino 25,5 % mažiau, negu dyzeliniais degalais maitinamas variklis.

Reikšminiai žodžiai: dyzelinis variklis, dyzeliniai degalai, padangų pirolizės aliejus, variklio darbo rodikliai, deginių emisija, dūmingumas

Ivadas

Šiuo metu pasaulis susiduria su daugybe iššūkių susijusių su energetika. Pagrindinės išskiriamos problemos: auganti energijos paklausa ne tik besivystančiose, bet ir kylančiose šalyse, priklausomybė nuo iškastinio kuro pasaulio energetikoje ir didėjanti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija, sąlygojanti su visuotiniu atšilimu susijusį poveikį (García-Contreras ir kt., 2015). Griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai verčia ieškoti naujų būdų ir jį mažinti įvairiuose sektoriuose. Europos Sąjungoje iki 26 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų yra sugeneruotos būtent iš transporto sektoriuje (European Environment Agency, 2017). Dėl šių minėtų aplinkybių, viso pasaulio mokslininkai vis intensyviau ieško alternatyvių ir atsinaujinančių energijos šaltinių, kuriuos būtų galima panaudoti transporto sektoriuje.

Padangų pirolizės aliejaus (PPA) panaudojimas dyzeliniuose varikliuose būtų puiki alternatyva. PPA gali būti naudojamas mišiniuose su dyzeliniais degalais. Tačiau, dauguma mokslininkų teigia, kad mineralinius degalus keičiant alternatyviais ar atsinaujinančiais degalais, kinta degalų fizinės ir cheminės savybės. Dėl degalų fizinių ir cheminių savybių įtakos kinta variklio darbo ir deginių emisijos rodikliai (Islam ir kt., 2016). Norint užtikrinti kuo mažesnę taršos poveikį aplinkai būtina atlikti eksperimentinius tyrimus (Kumaravel ir kt., 2016). Nagrinėjant mokslininkų šia tema atliekamus tyrimus pasigendama mokslinių tyrimų, kurie būtų susiję su dyzelino – padangų pirolizės aliejaus mišinių įtaka variklio darbo proceso parametrams bei deginių emisijos rodikliams.

Tyrimo objektas: Dyzelinių degalų ir jo mišinių su padangų pirolizės aliejumi dyzelinio variklio darbo rodikliai, degimo procesas dyzeliniame variklyje, deginių emisija.

Tyrimo tikslas – ištirti dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus mišiniais maitinamo dyzelinio variklio darbo ir deginių emisijos rodiklius, esant įvairiems apkrovų režimams.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę;
 2. Atlikti eksperimentinius dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus mišiniais veikiančio variklio darbo rodiklių tyrimus;
 3. Įvertinti padangų pirolizės aliejaus kiekio degaluose įtaką deginių emisijos rodikliams.
- Siekiant išspręsti iškeltus darbo uždavinius buvo pritaikyti moksliniai ir empiriniai tyrimo metodai.

Literatūros šaltinių analizė

Aplinkosauginiai reikalavimai nuolatos nagrinėjami Europos Sąjungos (ES) Komisijose. ES transporto priemonių deginių emisija pradėta reguliuoti nuo 1970 m., o 1990 m. patvirtinti Euro standartai dyzelinius degalus ir benziną naudojančiam transportui ir varikliams. Šiuos standartus turi atitikti visos transporto priemonės, kuriomis prekiaujama ES šalyse. Standartai buvo įvesti tam tikrais etapais: pirmas etapas „Euro-1“ ES buvo įgyvendintas 1992–1995 m., antras „Euro-2“ 1996–1999 m., trečias „Euro-3“

2000–2004 m., ketvirtas „Euro-4“ 2005–2007 m., penktas „Euro-5“ 2008–2012 m., šeštas „Euro-6“ 2013 m. (Singh, 2022). ES valstybėse formuojamos mažos taršos zonos. Daugelyje šalių taršių automobilių kriterijai vertinami pagal jų pagaminimo metus ir pagal EURO deginių emisijos standartus (Robert Bosch GmbH, 2004).

Vienas iš būdų taupantis iškastinį kurą ir mažinantis neigiamą poveikį aplinkai, energijos atgavimas iš atliekų, įskaitant medžiagas, kurios nėra biologiškai skaidžios (European Environment Agency, 2017). Komunalinės ir pramoninės atliekos, kurios turi didelę šiluminę vertę laikoma efektyvia energijos žaliava. Automobilių padangų atliekų išmetimas viena iš svarbių sprendinių problemų. Mokslininkų apskaičiuota, kad kasmet visame pasaulyje susidaro daugiau nei milijardas padangų atliekų.

Pirolizės technologijos panaudojimas vienas iš atliekų perdirbimo metodų. Tai termodinaminis procesas, kurio metu medžiaga kaitinama ir skaidoma be oro. Pirolizės metu gaunami kieti, skysti ir dujiniai įvairios sudėties produktai: pirolizės dujos, skystoji frakcija, kietasis anglies likutis, metalo laužas (Campuzano ir kt., 2020). Padangų atliekų pakartotinis naudojimas pirolizės perdirbimo technologija, būtų vienas iš būdų šalinti atliekas ir gauti didelės energetinės vertės produktus. Šių produktų kokybė ir kiekis priklauso nuo reaktoriaus temperatūros ir konstrukcijos (Murugan ir kt., 2009).

Atsinaujinančių biodegalų ir alternatyvių degalų naudojimas gerina ekologinę situaciją, tačiau kitų problemų atsirandančių VDV pašalinti negali. Šiam tikslui reikia tirti degalų tiekimo, degalų išpurškimo ir lašelių išskaidymo procesus, jų pasiskirstymą degimo kameros tūryje ir pasienio srityje, tobulinti degiojo mišinio ruošimą ir savaiminį užsiliepsnoją, optimizuoti degimo ir šilumos išsiskyrimo charakteristikas (Labeckas, 2021).

Tyrimo objektai ir metodika

Tyrimai buvo atlikti Vytauto Didžiojo universiteto, Žemės ūkio akademijos, Inžinerijos fakulteto Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros, variklių bandymo laboratorijoje. Eksperimentams atlikti buvo naudojamas vieno cilindro, tiesioginio įpurškimo dyzelinis variklis „ORUVA F1L511“, kurio vardinė galia 12,8 kW esant 3000 min⁻¹ variklio sukimosi dažniui. Variklio stende sumontuota variklio apkrovos valdymo įranga, darbo rodiklių bei emisijos matavimo prietaisai. Tyrimai buvo atliekami variklį apkraunant septyniomis skirtingo dydžio apkrovomis, o siekiant gautus rezultatus pateikti kuo suprantamiau atvaizduojant duomenis grafikuose naudotos mažiausios (10 proc.), vidutinės (50 proc.) bei didžiausios (100 proc.) apkrovų reikšmės.

Bandymo metu, buvo matuojamos variklio valandinės degalų sąnaudos, variklio sukimo momentas, deginių emisijos bei deginių dūmingumas. Variklio apkrovos charakteristikos buvo registruotos esant pastoviams alkūninio veleno sūkiams $n = 2000 \text{ min}^{-1}$.

Tūrinės oro sąnaudos išmatuotos dujų „GAZOERZ TURBINOWY CGT-02“. skaitikliu Degalų sąnaudos matuotos elektroninėmis „SK-1000“ svarstyklėmis. Variklio deginių NO, NO₂, NO_x, CO, CO₂ emisijos išmatuotos dujų analizatoriumi Testo 350 XL, o deginių optinio skaidrumo (dūmingumo) kitimas įvertintas „Bosch“ prietaisu RTT 100/RTT 110 nuo 0 iki 100 % skalėje.

Tyrimams naudotas grynas mineralinis dyzelinas (DD) ir degalų mišiniai sudaryti iš mineralinio dyzelino ir padangų pirolizės aliejaus (PPA). Eksperimentiniame tyrime buvo tiriami degalai ir jų mišiniai su skirtinga degalų bei jų priemaišų koncentracija: dyzeliniais degalais, PPA10 – 10 % PPA ir 90 % dyzelino ir PPA20 – 20 % PPA ir 80 % dyzelino.

1. lentelė

Fizinės ir cheminės skirtingų degalų savybės

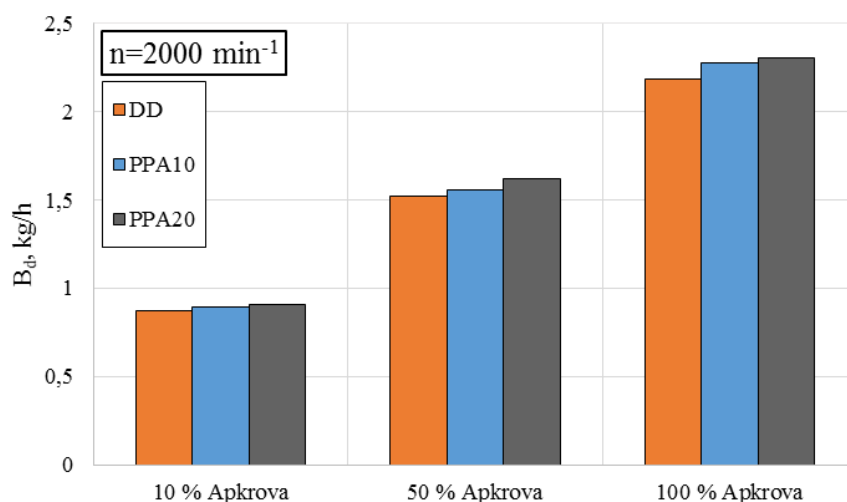
Savybių rodikliai	DD	PPA
Tankis esant 20°C, kg/m ³	824,7	909,4
Kinematinė klampa, 40°C mm ² /s	2,01	3,17
Cetaninis skaičius	~ 53	~ 40
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	42,72	39,55

Šaltinis: sudaryta autorių

Kiekvienas bandymas buvo kartotas tris kartus. Gauti duomenys buvo susisteminti „Microsoft Excel 2016“ programa bei pateiktas grafinis duomenų vaizdavimas.

Tyrimų rezultatai

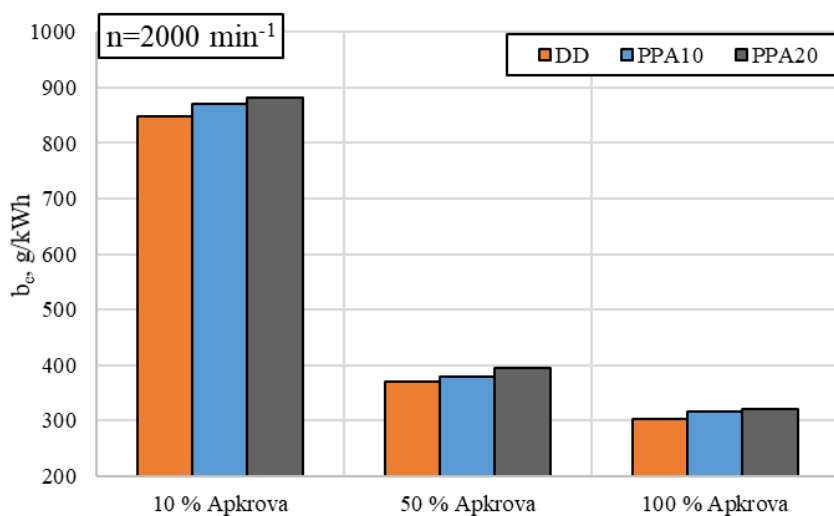
Varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais, valandinių degalų sąnaudų priklausomybė nuo apkrovos pateikta 1 pav. Išanalizavus gautus duomenis buvo pastebėta, kad mažiausios valandinės degalų sąnaudos gautos varikliui dirbant gryniais dyzeliniais degalais.



1 pav. Valandinių degalų sąnaudų (B_d) priklausomybė nuo apkrovos, varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais

Šaltinis: sudaryta autorių

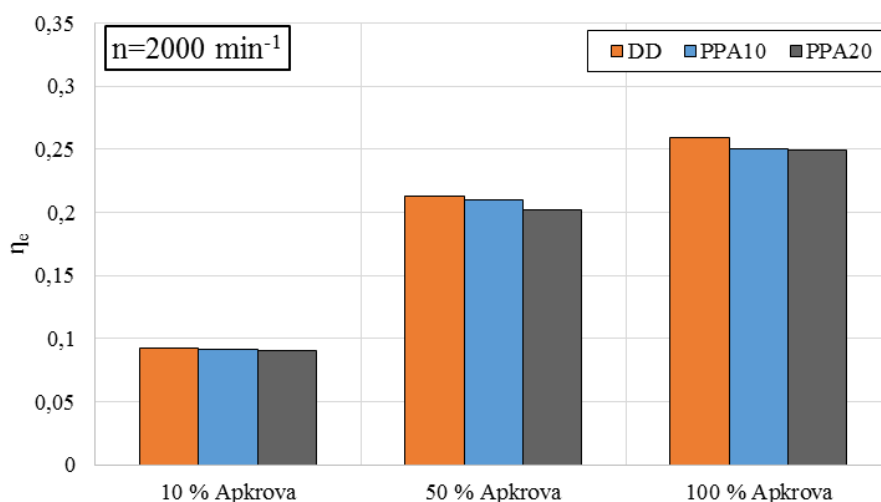
Lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų priklausomybė nuo apkrovos, varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais pateikta 2 pav. Kaip matyti, esant toms pačioms variklio darbo sąlygoms efektyviosios lyginamosios degalų sąnaudos, varikliui veikiant PPA mišiniais buvo didesnės. Tai paaiškinama, mažesne degalų mišinių šilumingumo verte, kuri reikalauja didesnės porcijos degalų, kad išgautų tą pačią variklio galią (1 lentelė). Pilnos apkrovos režime, varikliui dirbant degalų PPA10 ir PPA20 mišiniais, efektyviosios lyginamosios degalų sąnaudos atitinkamai 4,4 % ir 5,5 % didėjo, lyginant su dyzelinu (DD).



2 pav. Lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų (b_e) priklausomybė nuo apkrovos, varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais

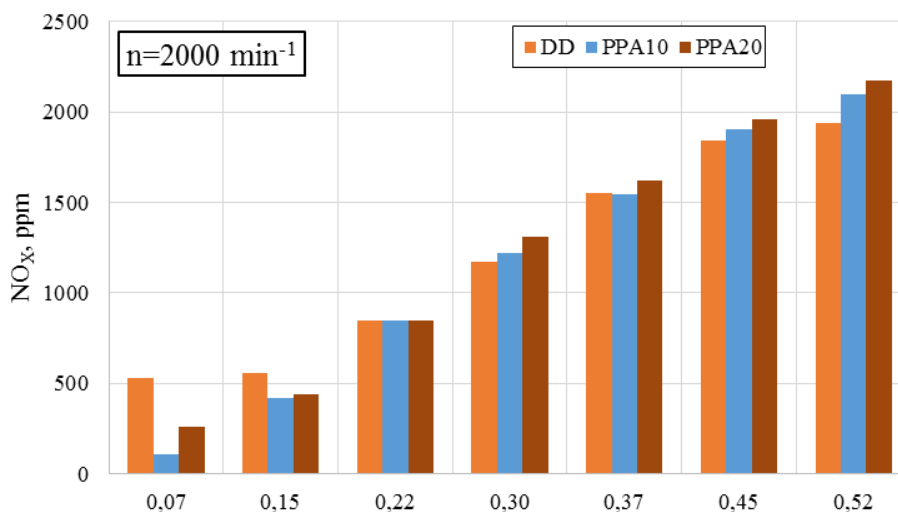
Šaltinis: sudaryta autorių

3 pav. pateikta efektyviojo naudingumo koeficiento priklausomybė apkrovos, varikliui dirbant dyzeliniais degalais ir jo mišiniais su padangų pirolizės aliejumi. Grafike matyti, kad visuose apkrovos režimuose, didžiausia efektyvaus naudingumo koeficiento reikšmė gauta variklį maitinant dyzeliniais degalais. Esant pilnai 100 % variklio apkrovai, naudojant degalų mišinius PPA10 ir PPA20, efektyvusis naudingumo koeficientas sumažėjo 3,62 %, ir 4 % atitinkamai, palyginti su dyzeliniais degalais varomu varikliu.



3 pav. Efektyviojo naudingumo koeficiento (η_e) priklausomybė nuo apkrovos, varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais
Šaltinis: sudaryta autorių

Azoto oksidas yra bendras azoto deguonies junginių pavadinimas. Jis susidaro visų degimo procesų, kuriuose dalyvauja oras vykstant gretutinėms reakcijoms su ore esančiu azotu. Azoto oksidų emisijos (NO_x) priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio (p_e), varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais pateikta 4 pav. Kaip matome, bendroji azoto oksidų (NO_x) emisija didėjo, didėjant variklio apkrovai. Varikliui veikiant maža apkrova didžiausias azoto oksidų kiekis buvo sugeneruotas variklį maitinant dyzeliniais degalais. Esant tai pačiai variklio apkrovai, naudojant degalų PPA20 mišinį, azoto oksidų emisija buvo 6,8 % mažesnė negu naudojant dyzelinius degalus. Grafikuose galima matyti, kad esant pilnai apkrovai, maksimali azoto oksidų emisijos reikšmė (2170 ppm) gaunama, variklį maitinant PPA20 degalų mišiniu.

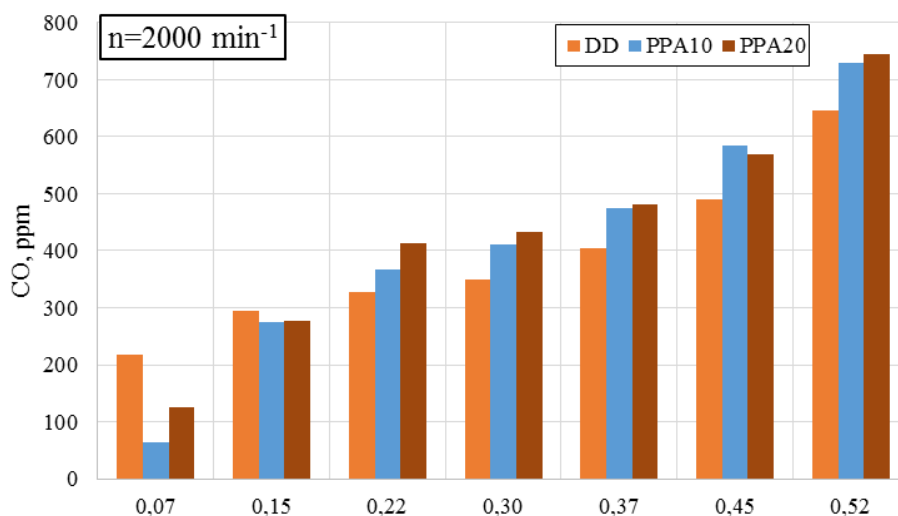


4 pav. Azoto oksidų emisijos (NO_x) priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio (p_e), varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais
Šaltinis: sudaryta autorių

NO_x emisijoms formavimuisi didelę įtaką daro du parametrai – aukšta dujų temperatūra cilindre ir ilgesnė savaiminio užsiliepsnojimo periodo trukmė. Degalai turintys ilgesnį savaiminio užsiliepsnojimo gaisties periodą pasižymi didesniu maksimaliu šilumos išsiskyrimo greičiu. Dėl šios priežasties didėja temperatūra cilindre. Antra vertus didesnis aromatinių medžiagų kiekis, didina azotų oksidų kiekį. Tai galima paaiškinti išanalizavus ir kitų autorių mokslinius darbus (Murugan et al., 2009).

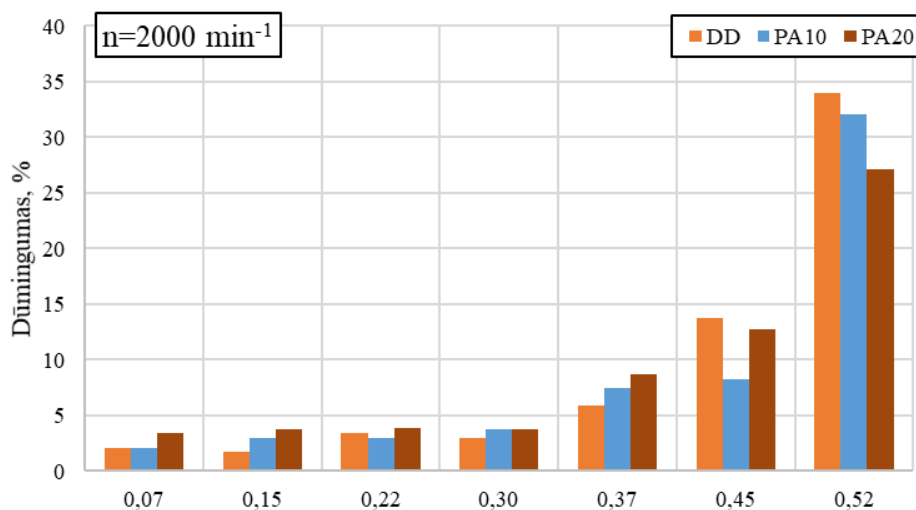
Anglies viendeginio emisijos priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio, varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais pateikta 5 pav. Varikliui veikiant maža apkrova, didžiausia anglies viendeginio

CO emisija, buvo gauta, variklį maitinant dyzeliniais degalais. Varikliui dirbant vidutine ($p_e = 0,3$ MPa) apkrova, anglies viendeginio (CO) emisija, naudojant degalų mišinį PPA20, buvo didesnė negu naudojant dyzelinius degalus. Esant pilnai variklio ($p_e = 0,52$ MPa) apkrovai, panaudojus dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus PPA10 ir PPA20 mišinius, anglies viendeginio emisija padidėjo 12,8 % ir 15,3 % atitinkamai lyginant su rezultatais gautais ištyrus dyzelinius degalus (DD).



5 pav. Anglies viendeginio (CO) emisijos priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio (p_e), varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais
Šaltinis: sudaryta autorių

Mineralinio dyzelino ir jo mišinių PPA10 ir PPA20 su padangų pirolizės aliejumi, veikiančio variklio išmetamųjų deginių dūmingumas pateiktas 6 pav. Buvo pastebėta, kad deginių dūmingumui didžiausią reikšmę turi variklio apkrova. Galima matyti, kad varikliui veikiant maža apkrova, mažiausias deginių dūmingumas buvo gautas, variklį maitinant degalų PPA20 mišiniu.



6 pav. Dūmingumo priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio (p_e), varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais
Šaltinis: sudaryta autorių

Esant pilnai apkrovai ($p_e = 0,52$ MPa), variklį maitinant degalų PPA10 ir PPA20 mišiniais, dūmingumas atitinkamai 5,9 %, ir 25,5 % sumažėjo, lyginant su dyzeliniais degalais maitinamu varikliu.

Išvados

5. Varikliui dirbant žema 10 % apkrova, mažiausios efektyviosios lyginamosios degalų sąnaudos buvo gautos varikliui veikiant dyzeliniais degalais. Esant maksimaliai variklio 100 % apkrovai, didžiausios (320,3 g/kW·h) lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos buvo gautos varikliui veikiant PPA20 degalų mišiniu.

6. Esant vidutinei 50 % apkrovai, panaudojus degalų mišinį PPA20, variklio naudingo veikimo koeficientas buvo gautas 5,4 % mažesnis palyginti su dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu. Maža apkrova ir dyzeliniais degalais veikiantis variklis, išskyrė didžiausią bendrąją azoto oksidų emisiją. Naudojant degalų PPA20 mišinį, mažos apkrovos diapazone, azotų oksidų emisija 6,8 % mažėjo, lyginat su dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu.

7. Varikliui dirbant vidutinės apkrovos režimu ($p_e = 0,3$ MPa), didžiausia anglies viendeginio emisija, buvo gauta varikliui veikiant PPA20 degalų mišiniu (433 ppm), o mažiausios (349 ppm) dyzeliniais degalais maitinamo variklio. Varikliui dirbant mažos ($p_e = 0,07$ MPa) apkrovos režime, degalų mišiniu PPA20 veikiantis variklis dūmino daugiau palyginus su dyzeliniais degalais. Pilnos apkrovos režime variklio deginių dūmingumas buvo sumažintas 25,5 % panaudojus degalų mišinį PPA20.

Literatūra

1. Campuzano, F., Abdul Jameel, A. G., Zhang, W., Emwas, A. H., Agudelo, A. F., Martínez, J. D., & Sarathy, S. M. (2020). Fuel and chemical properties of waste tire pyrolysis oil derived from a continuous twin-auger reactor. *Energy & Fuels*, 34(10), 12688-12702.
2. ES veiksmai energetikos ir klimato kaitos srityje, Europos audito rūmai. 2017 m. Prieiga per internetą: www.op.europa.eu/webpub/eca/lr-energy-and-climate/lt/.
3. García-Contreras, R., Martínez, J. D., Armas, O., Murillo, R., & García, T. (2015). Study of a residential boiler under start-transient conditions using a tire pyrolysis liquid (TPL)/diesel fuel blend. *Fuel*, 158, 744-752.
4. Greenhouse gas emissions from transport in Europe, European Environment Agency, 2017 m. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10>
5. Islam, M. N., & Nahian, M. R. (2016). Improvement of waste tire pyrolysis oil and performance test with diesel in CI Engine. *Journal of Renewable Energy*, 2016.
6. Kumaravel, S. T., Murugesan, A., & Kumaravel, A. (2016). Tyre pyrolysis oil as an alternative fuel for diesel engines—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1678-1685.
7. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2021). Comparative evaluation of the combustion process and emissions of a diesel engine operating on the cetane improver 2-Ethylhexyl nitrate doped rapeseed oil and aviation JP-8 fuel. *Energy Conversion and Management*: X, 11, 100106.
8. Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G. (2008). The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. *Waste management*, 28(12), 2743-2749.
9. Naima, K., & Liazid, A. (2013). Waste oils as alternative fuel for diesel engine: A review. *Journal of Petroleum technology and Alternative fuels*, 4(3), 30-43.
10. Robert Bosch GmbH. (2004). Diesel-engine management (Vol. 112). Brill Academic Publishers.
11. Singh, S., Kulshrestha, M. J., Rani, N., Kumar, K., Sharma, C., & Aswal, D. K. (2022). An Overview of Vehicular Emission Standards. *MAPAN*, 1-23.

EFFECT OF ENGINE PERFORMANCE USING DIESEL FUEL AND ITS BLENDS WITH ALTERNATIVE FUELS

Summary

The article presents the results of the engine performance and fuel emissions characteristics studies using diesel fuel and its blends with tire pyrolysis oil. Experimental studies were carried out with the diesel engine "ORUVA F1L511". Diesel fuel (DD) and its blends PPA10 and PPA20 with tire pyrolysis oil were used for research. During the test, the engine's fuel consumption per hour (Bd), volumetric air consumption, engine torque, fuel emissions and smoke opacity on the exhaust were measured.

Research has shown that at low load, the lowest fuel consumption per hour (Bd) was obtained when the engine was running on pure diesel. The highest brake specific fuel consumption (bsfc) was obtained when the engine was running on a diesel and tire pyrolysis oil PPA20 blend. At full load, PPA10 and PPA20 fuel blends resulted in 3.6% and 4% lower brake thermal efficiency (η_e), compared to pure diesel in the distribution engine. In the same mode, using a blend of diesel fuel and tire pyrolysis oil PPA20, the engine generated the highest total emissions of nitrogen oxides. The highest carbon monoxide CO emissions at full load was obtained with the PPA20 fuel blend (745 ppm) and the lowest with pure diesel (646 ppm). When the engine is running at full load. When the engine was running at full load, the PPA20 blend fueled engine emitted 25.5% less smoke opacity on the exhaust than the diesel fueled engine.

Key words: diesel fuel, tyre pyrolysis oil, engine performance, emissions

SKIRTINGOS SUDĖTIES DEGALŲ TEPUMO SAVYBIŲ TYRIMAS

Tomas Mickevičius
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojami dyzelinių degalų (DD), biodegalų (HVO) ir padangų pirolizės aliejaus (PPA100) tepumo savybių tyrimo rezultatai. Tyrimų tikslas buvo ištirti fizines-chemines skirtingos sudėties degalų savybes, įvertinant jų galimą įtaką maitinimo sistemos darbui ir variklio eksploataciniams rodikliams. Tepumo tyrimai atlikti naudojant HFFR aukšto dažnio slankiojamo judesio standą. Degalų tepumas buvo nustatomas pagal nudilimo pėdsaką susidarantį ant švytuojančio rutuliuko dėl kontakto su stacionariai įtvirtinta plokšte, panardinta į degalus. Bandymas atliktas pagal tarptautinį standartą ISO 12156. Analizuojant gautus rezultatus buvo nustatyta, kad didžiausias nudilimo skersmuo 0,343 mm gautas naudojant gryną padangų pirolizės aliejų, mažiausias nudilimo skersmuo 0,185 mm užfiksuotas naudojant grynus dyzelinius degalus. Darbe buvo nagrinėtos skirtingos sudėties degalų, tankio ir kinematinės klampos priklausomybės nuo temperatūros. Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad tankis didėja, didėjant PPA kiekiui biodegalų mišinyje ir mažėja didėjant temperatūrai. Tankio priklausomybė buvo gauta tiesiška. Priklausomai nuo degalų sudėties, kinematinė klampa mažėjo didėjant temperatūrai.

Reikšminiai žodžiai: dyzeliniai degalai, biodyzelinas, padangų pirolizės aliejus, tepumas

Ivadas

Didėjant transporto priemonių skaičiui, žaliavinės naftos atsargos mažėja, o sunaudojimo poreikis didėja. Auga ir atmosferoje išsiskiriančių teršalų kiekis. Mažėjantys mineralinių degalų resursai, nestabilios naftos produktų kainos ir vis labiau augančios aplinkosauginės problemos verčia pasaulio mokslininkus ieškoti atsinaujinančių ir alternatyvių energijos šaltinių (Duda, 2018).

Transporto priemonių vidaus degimo variklių (VDV) konstrukcija ir eksploataciniai parametrai buvo tobulinami efektyviai dirbti su mineraliniais degalais (Labeckas, 2019). Tačiau mineralinių degalų ištekliai riboti ir neatsinaujinantys (Awang, 2020). Dyzelinio variklio maitinimo sistemos ilgaamžiškumui ir funkcionalumui ypač svarbu, kad degalai gerai teptu, neturėtų laisvojo vandens ir nebūtų užteršti kietomis dalelėmis. Degalų sudėties pokyčiai, vidaus degimo variklių technologijų tobulinimas ir skirtingos sudėties degalų įdiegimas skatina mokslininkus toliau tirti šią temą. Pritaikant variklio maitinimo sistemas darbui su netradiciniais degalais, degalai privalo patenkinti vieną iš svarbiausių reikalavimų, negadinti maitinimo sistemos aparatūros detalių. Nagrinėjant mokslininkų šia tema atliekamus tyrimus pasigendama mokslinių tyrimų, kurie būtų susiję su atsinaujinančių ir alternatyvių degalų cheminių bei fizikinių savybių įtakojimui, transporto priemonių variklių maitinimo sistemos darbui yra mažiau.

Tyrimo objektas: Mineralinio dyzelino, antros kartos biodegalų (HVO) ir padangų pirolizės aliejaus (PPA) fizinės ir cheminės savybės, degalų tepumo savybės.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti fizines-chemines skirtingos sudėties degalų savybes, įvertinant jų galimą įtaką maitinimo sistemos darbui ir variklio eksploataciniams rodikliams.

Tyrimų uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę;
2. Ištirti fizines-chemines dyzelinių degalų (DD), biodegalų (HVO) ir padangų pirolizės (PPA) aliejaus degalų savybes;
3. Atlikti eksperimentinius tepumo tyrimus naudojant dyzelinius degalus (DD), biodegalus (HVO) ir padangų pirolizės aliejų (PPA).

Siekiant išspręsti iškeltus darbo uždavinius buvo pritaikyti indukcijos ir dedukcijos, abstrahavimo, empiriniai, analizės ir sintezės tyrimo metodai.

Literatūros apžvalga

Dyzeliniai degalai gaunami palaipsniui distiliuojant naftą. Juos sudaro daugybė atskirų angliavandenilių, kurių virimo temperatūra maždaug tarp 180 °C ir 370 °C. Norint patenkinti didėjantį dyzelinių degalų poreikį, naftos perdirbimo įmonės į dyzelinius degalus deda vis daugiau konversijos produktų. Dyzelino kokybės reikalavimus Europoje nustato EN 590 standartas. Autoriai atlikdami degalų tepumo tyrimus moksliniuose darbuose išskiria, kad vieni iš pagrindinių degalų rodiklių: tankis, klampa, tepumas, sieros kiekis ir kt (Temizer, 2020).

Pirmos kartos biodegalams, kaip žaliavai gali būti naudojami maistiniai augalai, turintys lengvai išgaunamų cukrų, krakmolo ir aliejaus. Gamybos metu cukrus sufermentuojamas į bioetanolį, o iš riebalinių rūgščių transesterifikacijos būdu gaminamas biodyzelinas. Kaip populiariausi biodegalai ES šalyse plačiai naudojamas biodyzelinas. Antros kartos biodegalai, kaip žaliavą naudoja lignoceliuliozės turinčią biomasę.

Šiuo atveju biodyzelinas (HVO) gaunamas hidrinimo būdu iš augalinių aliejų ir gyvūninių riebalų, medienos ir pramoninių atliekų (Engman, 2016).

Atliekų pavertimas degalais turi didžiulį potencialą. Kietosios atliekos pasaulyje yra rimta problema, dėl kurios kyla ekologinės ir ekonominės problemos. Kasmet pasaulyje susikaupia didelė dalis nudėvėtų padangų. Antrosios kartos degalus pagal gamybos būdą galima suskirstyti į grupes. Degalus, sintetinus iš dujų, gaunamų pirolizės ir Kocho būdais. Šiuos gamybos būdus galima taikyti tokioms žaliavoms kaip anglis, plastikas, dūblas, alkanų, alkenų ir aromatinių dujų mišiniams. Į atskirą grupę grupuojami skystieji degalai iš gamtinių dujų, biodujų. Jų sintezės produktai – metanolis, dimetileteris, benzinai, dyzelinas. Trečiajai grupei priskiriami skystieji degalai iš biomasės (žaliavos: mediena, šiaudai, durpės); gaunami sintezės produktai – Fišerio-Tropšo biodyzelinas, biometanolis, bio-DME (Binod, 2019).

Degalų tepumo tema sulaukė daug dėmesio. Mokslininkai atliko eksperimentinius degalų tepumo tyrimus. Bandymams naudojo biodyzeliną (RME) ir besierius dyzelinius degalus. Tepumo tyrimai buvo atlikti naudojant HFFR aukšto dažnio slankiojamo judesio standą. Bandinių paviršiai buvo analizuojami. Siekiant nustatyti susidariusias paviršiaus nusidėvėjimo dėmes buvo taikoma paviršiaus topografija. Nuosėdų sudėtis buvo įvertinta naudojant skenuojantį elektroninį mikroskopą su dispersiniu spektrometru. Mokslininkai nustatė, degalų tepimas buvo žymiai pagerintas pridėjus 10 % RME į dyzelinius degalus, tačiau topografiniai paviršiaus vaizdai parodė anglies likučių susidarymą ant nusidėvėjusių paviršių (Sukjit, 2012).

Atsinaujinančių biodegalų ir alternatyvių degalų naudojimas gerina ekologinę situaciją, tačiau kitų problemų atsirandančių vidaus degimo variklių sistemos elementuose pašalinti negali. Šiam tikslui reikia tirti degalų tiekimo procesus, jų pasiskirstymą degimo kameros tūryje naudojant skirtingos sudėties degalus.

Tyrimo objektai ir metodika

Vytauto Didžiojo universitete, Miškų ir ekologijos fakulteto, Aplinkos ir ekologijos katedros, Aplinkos technologijos cheminių ir biocheminių tyrimų laboratorijoje, buvo tyrinėjamas skirtingos sudėties degalų ir jų mišinių tankis, kinematinė klampa ir šilumingumas. Fizinėms degalų savybėms nustatyti buvo naudojamas „Anton Paar“ firmos prietaisas „SVM 3000“ (matavimo paklaidos atitinkamai 0,0002 g/cm³ ir 0,1%). Tiriamų degalų šilumingumas buvo nustatomas naudojant kolorimetrą „IKA C2000 basic“.

Tyrime buvo panaudoti trys skirtingos sudėties degalų mišiniai, kurių sudėtis yra tokia:

1. 100 % HVO – hidrinimo būdu iš augalinių aliejų ir gyvūninių riebalų, medienos ir pramoninių atliekų gauti dyzeliniai degalai (Malinowski et al., 2013);
2. 100 % – padangų pirolizės aliejus (PPA100);
3. DD – mineralinis dyzelinas.

Naudotų gryną degalų fizinės cheminės savybės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė

Naudotų degalų fizinės ir cheminės savybės

Savybių rodikliai	Vertinimo metodas	DD	HVO	PPA	EN590
Tankis esant 15°C, kg/m ³	EN ISO 12185:1999	832,7	779,8	910	800 – 845
Kinematinė klampa, mm ² /s	EN ISO 3104+AC:2000 at 40 °C	2,13	2,92	3,77	1,5 – 4
Tepumo savybės patikslintos pagal skersmens nusidėvėjimą (HFRR), (wsd 1.4) esant 60 °C, µm	EN ISO 12156-1	-	-	-	Max: 460
Cetatinis skaičius	EN ISO 5165:1999	51,4	78,9	39	Min: 51
Degūnės kiekis, max wt%	-	0	0	1,76	
Anglies ir vandenilio masės santykis (C/H)	-	6,62	5,58	1,48	
Stechiometrinis oro ir degalų santykis, kg/kg	-	14,5	15,1	13,46	
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	EN ISO 8217:2012	43	43,82	38,10	

Šaltinis: sudaryta autorių

Paviršiaus įtempimo tyrimai atlikti Vytauto didžiojo universiteto, Inžinerijos fakulteto, Jėgos ir transporto mašinų inžinerijos instituto Chematologijos laboratorijoje. Paviršiaus įtempimas buvo išmatuotas prietaisu „Kruss BP 2100“ (matavimo tikslumas ± 0,1 mN/m), esant 21 °C temperatūrai.

Degalų tepumo eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos, Inžinerijos fakulteto, Mechanikos, energetikos ir biotechnologijų inžinerijos katedros tribologijos bandymų laboratorijoje.

Tyrimai buvo atlikti su HFFR aukšto dažnio slankiojamo judesio standu. Degalų tepumas buvo nustatomas pagal nudilimo pėdsaką susidarantį ant švytuojančio rutuliuko dėl kontakto su stacionariai

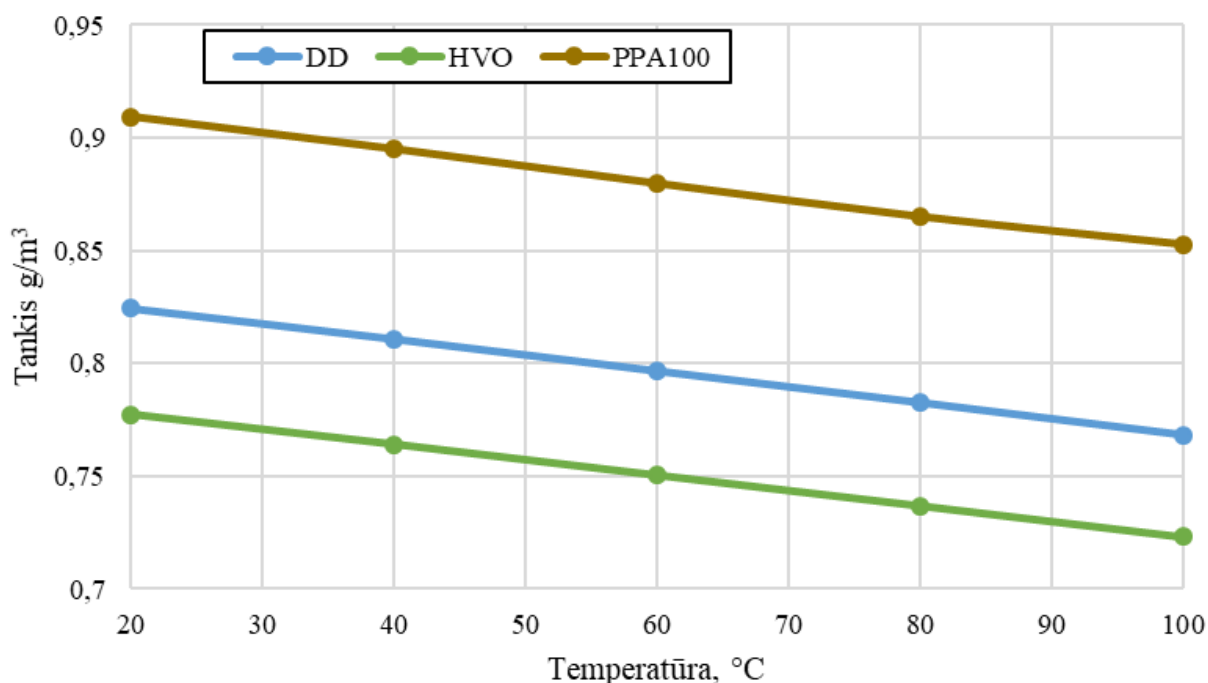
įtvirtinta plokšte, panardinta į degalus. Bandymas atliktas pagal tarptautinį standartą ISO 12156 (ASTM D6079-99 Standard). Bandymo metu degalų temperatūra buvo 60° C. Tiriant buvo atliekami 3 pakartojimai.

Rutuliukų nudilimo pėdsakų vaizdai buvo gauti naudojant optinį mikroskopą „Nikon Elipse MA100“. Gautas nuotraukos priartintos 200 kartų. Gautų eksperimentinių duomenų apdorojimui naudota Excel 2016 programa iš standartinio MS Office paketo.

Tyrimų rezultatai

Dyzelinio kokybės reikalavimus Europoje nustato EN 590 standartas. Svarbiausi rodikliai: tankis klampa, tepumas, cetaninis skaičius, cetaninis indeksas, virimo sritis, filtravimosi riba, plyksnio taškas, sieros kiekis, polinkis kokuotis, bendras užterštumas, vandens kiekis. Naudojant skirtingos sudėties degalus ir jų mišinius keičiasi naudojamų degalų savybės. Energijos kiekis degalų tūrio vienetu didėja didėjant tankiui. Naudojant didesnio tankio, kuris priklauso nuo degalų rūšies, degalus, padidėja variklio galia ir dūmingumas. Todėl reikalaujama, kad degalų tankis, atsižvelgiant į degalų rūšį mažai kistu (Robert Bosch GmbH., 2004).

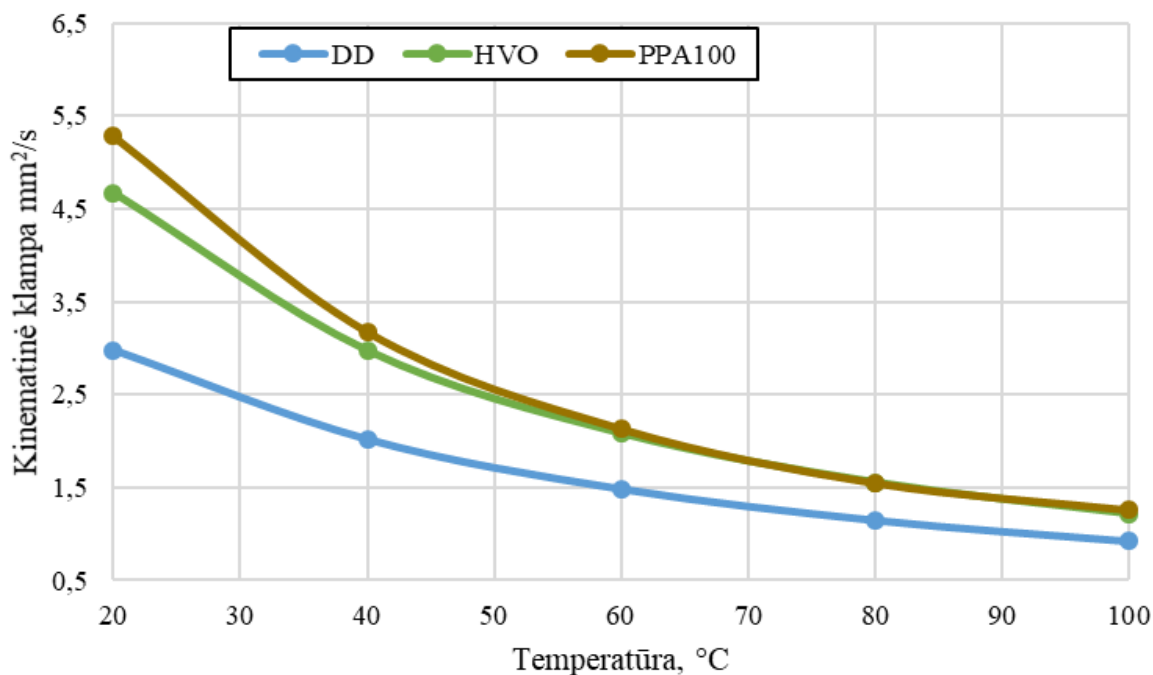
Padangų pirolizės aliejaus įmaišymas į biodyzeliną keičia degalų tankį (1 pav.). Atlikus tyrimus buvo nustatyta, kad tankis didėja, didėjant PPA kiekiui biodegalų mišinyje ir mažėja didėjant temperatūrai. Esant 60 °C laipsnių temperatūrai, dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus, tankis buvo gautas atitinkamai 6,1 % ir 17,2 % didesnis, negu gryno antros kartos biodyzelino.



1.pav. Skirtingos sudėties degalų tankio priklausomybė nuo temperatūros

Šaltinis: sudaryta autorių

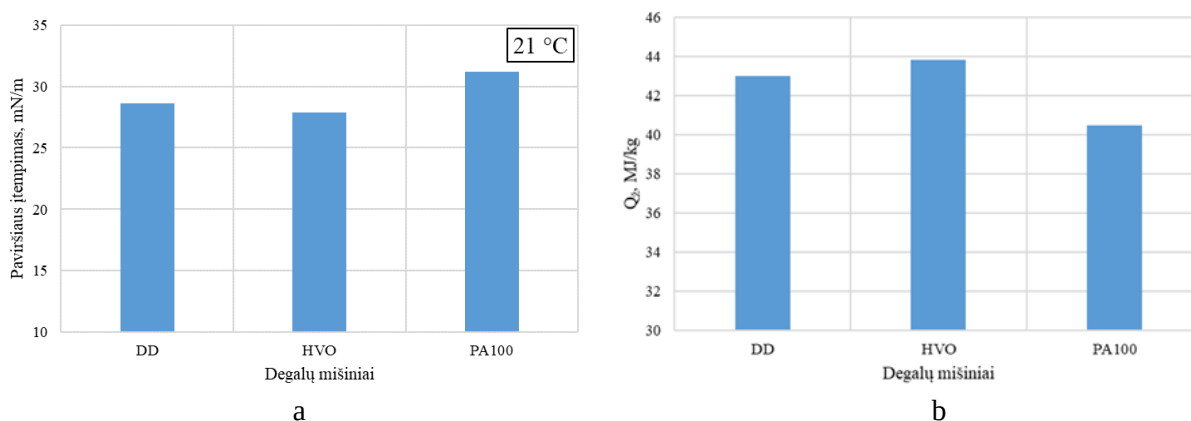
Skysčio vidaus trintį įvertinanti degalų savybė kinematinė klampa. Tai vienas iš pagrindinių rodiklių charakterizuojančių tekumą. Degalų klampa turi įtakos degalų išpurškimo kokybei ir maitinimo sistemos darbo sąlygoms. Kai degalų klampa maža, blogiau sutepamos plunžerinės poros, degalai purškiami smulkesniais lašeliais. Šių lašelių kinetinė energija mažesnė, todėl jie lieka arčiau purkštuvo, blogiau ruošiamas degusis mišinys, variklis gali dūminti. Kai degalų klampa didesnė, lašeliai formuojasi didesni, jie lekia toliau, bet lėčiau garuoja. 2 paveiksle pateikta skirtingos sudėties degalų kinematinės klamos priklausomybė nuo temperatūros. Kaip matyti grafike, esant 60 °C laipsnių temperatūrai, biodyzelino ir padangų pirolizės aliejaus, kinematinė klampa gauta atitinkamai 40 %, ir 43 % didesnė, negu įprastinių dyzelinių degalų.



2 pav. Skirtingos sudėties degalų kinematinės klamos priklausomybė nuo temperatūros

Šaltinis: sudaryta autorių

Degalų išpurškimo procesui ir degimo kokybei, įtakos turi paviršiaus įtempimas. Dėl mažesnio degalų tankio, klampumo ir paviršiaus įtempimo, degalai pasižymi mažesniu vidutiniu lašelių dydžiu. Tyrime naudotų skirtingos sudėties degalų paviršiaus įtempimai pateikti 3 paveiksle. Bandymo atveju buvo pastebėta, kad paviršiaus įtempimas 2,5 % buvo mažesnis naudojant biodyzeliną, atitinkamai, esant 21 °C.



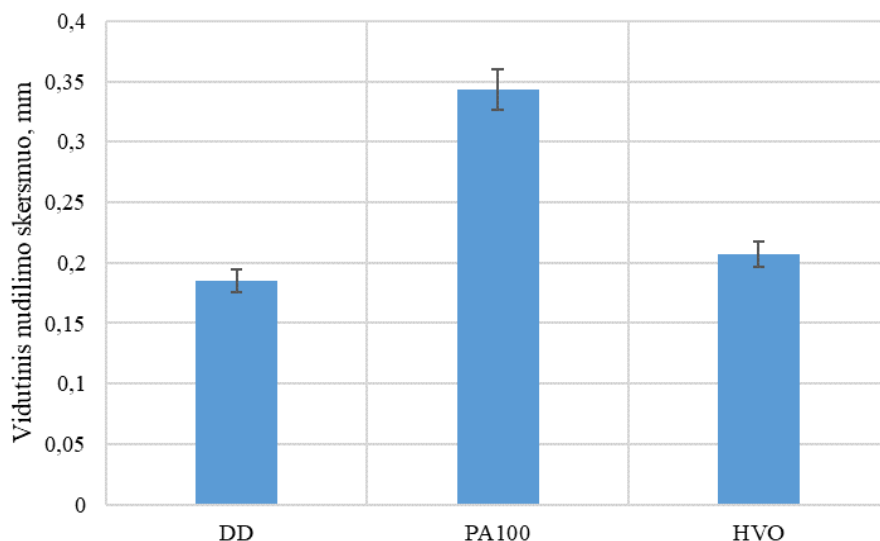
3 pav. Skirtingos sudėties degalų paviršiaus įtempimas (a) ir degalų žemutinis šilumingumas (b)

Šaltinis: sudaryta autorių

Svarbi degalų savybė yra šilumingumas. Nuo biodegalų šiluminės vertės priklauso variklio darbas bei degalų sąnaudos. Tyrimuose naudotų skirtingos sudėties degalų žemutinis šilumingumas pateiktas 3 (b) pav. Kaip matyti, naudojant padangų pirolizės aliejų buvo gautas 6,1 % mažesnis apatinis šilumingumas, lyginant su grynu dyzelinu.

Degalų tepumas nustatomas atliekant dilimo testą. Tvirtai įtvirtintas plieninis rutuliukas degaluose dideliu dažniu trinamas į plokštę. Susidariusios plokštumos dydis (dilimo pėdsako skersmuo (WSD)) parodo nudilimą, todėl yra degalų tepumo matas (Robert Bosch GmbH., 2004). Pagal EN 590 reikalvumus dyzeliniams degalams $WSD \leq 460 \mu m$.

4 paveiksle pateikti rutuliuko vidutiniai nudilimo skersmenys naudojant dyzelinius degalus, biodyzeliną ir padangų pirolizės aliejų.



4 pav. Rutuliukų vidutiniai nudilimo skersmenys naudojant skirtingos sudėties degalus

Šaltinis: sudarytas autorių

Analizuojant gautus rezultatus buvo nustatyta, kad pats didžiausias nudilimo skersmuo 0,345 mm užfiksuotas naudojant gryną padangų pirolizės aliejų (PA100). Mažiausias nudilimo skersmuo 0,185 mm buvo gautas naudojant dyzelinius degalus. Tuo tarpu, naudojant augalinį aliejų (HVO), nudilimo skersmuo buvo gautas 0,207 mm. Iš grafiko galima pastebėti, kad tiriamų skirtingos sudėties degalų vidutinio nudilimo skersmens reikšmės atitinka dyzeliniams degalams keliamus standarto reikalavimus.

Išvados

1. Mineralinius degalus keičiant alternatyviais ar atsinaujinančiais degalais, kinta degalų fizinės ir cheminės savybės. Dėl degalų fizinių ir cheminių savybių įtakos gali kisti vidaus degimo variklio maitinimo sistemos komponentų darbas.

2. Dyzelinių degalų ir padangų pirolizės aliejaus, tankis buvo gautas 6,1 % ir 17,2 % didesnis, negu antros kartos biodyzelino, esant 60 °C temperatūrai. Biodyzelino ir padangų pirolizės aliejaus, kinematinė klampa gauta 40 %, ir 43 % didesnė, esant 60 °C temperatūrai, palyginti su dyzelinių degalų atveju.

3. Mažiausias vidutinis nudilimo skersmuo gautas 0.185 mm naudojant dyzelinius degalus, didžiausias 0,345 mm naudojant gryną padangų pirolizės aliejų. Tyrinėtų skirtingos sudėties degalų tepumo savybės pagal skersmens nusidėvėjimą (HFRR), gautos reikšmės atitinka dyzeliniams degalams keliamus (EN590) standarto reikalavimus.

Literatūra

1. ASTM D6079-99 Standard Test Method for Evaluating Lubricity of Diesel Fuels by the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR).
2. Awang, M. S. N., Zulkifli, N. W. M., Abbass, M. M., Zulkifli, S. A., Yusoff, M. N. A. M., Ahmad, M. H., & Daud, W. M. A. W. (2020). Effect of blending local plastic pyrolytic oil with diesel fuel on lubricity. *Jurnal Tribologi*, 27, 143-157.
3. Binod, P., Gnansounou, E., Sindhu, R., & Pandey, A. (2019). Enzymes for second generation biofuels: recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 5, 317-325.
4. Duda, K., Wierzbicki, S., Śmieja, M., & Mikulski, M. (2018). Comparison of performance and emissions of a CRDI diesel engine fuelled with biodiesel of different origin. *Fuel*, 212, 202-222.
5. Engman, A., Hartikka, T., Honkanen, M., Kiiski, U., Kuronen, L., Lehto, K., & Saikkonen, P. (2016). *Neste renewable diesel handbook*. Neste Proprietary Publication, Espoo.
6. Labeckas, G., Slavinskas, S., & Kanapkienė, I. (2019). Study of the effects of biofuel-oxygen of various origins on a CRDI diesel engine combustion and emissions. *Energies*, 12(7), 1241.
7. Malinowski, A.; Czarnocka, J.; Biernat, K. 2013. *An Analysis of Physico-Chemical Properties of the Next Generation Biofuels and Their Correlation with the Requirements of Diesel Engine*. Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications, ISBN 978-953-51-0910- 5. 435–459.
8. Robert Bosch GmbH. (2004). *Diesel-engine management* (Vol. 112). Brill Academic Publishers.
9. Singh, S., Kulshrestha, M. J., Rani, N., Kumar, K., Sharma, C., & Aswal, D. K. (2022). An Overview of Vehicular Emission Standards. *MAPAN*, 1-23.

10. Sukjit, E., Dearn, K. D., & Tsolakis, A. (2012). Interrogating the Surface: The effect of blended diesel fuels on lubricity. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 5(1), 154-162.
11. Temizer, İ., & Eskici, B. (2020). Investigation on the combustion characteristics and lubrication of biodiesel and diesel fuel used in a diesel engine. *Fuel*, 278, 118363.

STUDY OF THE LUBRICATION PROPERTIES OF TIRE PYROLYSIS OIL

Summary

The article analyses the results of the study of the lubrication properties of diesel fuel (DD), biofuel (HVO) and tire pyrolysis oil (PPA100). The aim of the research was to study the physical-chemical properties of fuels of different composition, assessing their possible influence on the operation of the fuel supply system and the performance of the engine. Lubricity tests were performed using the HFFR high-frequency sliding motion bench. Fuel lubricity was determined by the wear mark formed on the glowing ball due to contact with a stationary plate immersed in fuel. The test was performed in accordance with the international standard ISO 12156. Analysing the results, it was found that the maximum wear diameter of 0.343 mm was obtained using pure tire pyrolysis oil, the minimum wear diameter of 0.185 mm was recorded when using pure diesel fuel. The article examined the temperature dependences of fuel with different compositions, density and kinematic viscosity. Studies have shown that density increases with increasing PPA content in the biofuel blend and decreases with increasing temperature. The density dependence was obtained linearly. Depending on the fuel composition, the kinematic viscosity decreased with increasing temperature. It was found that the kinematic viscosity of tire pyrolysis oil is higher than that of conventional diesel fuel.

Key words: tire pyrolysis oil; lubricity, mineral diesel fuel, biodiesel.

**TECHNOLOGINĖS IR EKSPERTINĖS INOVACIJOS AERONAUTIKOS INŽINERIJOS
SRITYJE**

BUITINĖS ĮRANGOS KOMPLEKTACIJOS MODIFIKAVIMO PRIELAIDOS ORLAIVYJE BOEING 737 – 800

Esmeralda Štys, Deinaras Stundžia
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Orlaivių virtuvė yra neatsiejama keleivinių orlaivių dalis, suteikianti įgulos nariams erdvę maistui ir gėrimams gaminti ir klientams teikti paslaugas. Modifikuojant orlaivių Boeing 737 – 800 virtuvės komplektaciją akcentuojamasi į sertifikuotų gamintojų virtuvines lentynas ir kavos aparatus. Yra keletas techninių kodeksų, kurių reikia laikytis siekiant užtikrinti, kad įvairių gaminių ir dalių dizainas visiškai atitiktų visus sertifikavimo reikalavimus.

Raktiniai žodžiai: Boeing 737 – 800 įrangos komplektacija, gamintojo „BE Aerospace“ kavos aparatas, orlaivio virtuvės lentyna „Galley G1“.

Įvadas

Dažniausiai oro linijų bendrovei plečiant savo orlaivių flotilę, perkami naudoti orlaiviai iš kitų oro linijų bendrovių. Įvairios oro linijos turi savo nuosavą politiką ir skirtingus paslaugų teikimo paketus. Užsakydama naują Boeing 737 - 800 iš gamyklos oro linijų bendrovė suderina su gamintoju, pagal savo poreikius kokią virtuvės įrangą jie nori gauti. Galimos skirtingos virtuvės įrangos komplektacijos: 1) jau turi standartiškai įtrauktą gamyklinį Boeing kavos aparatą, 2) kavos aparato neturi.

Kuomet Boeing 737 - 800 orlaivis neturi savo standartinėje komplektacijoje kavos aparato, jame papildomai sumontuojamas kavos aparatas. Nagrinėjama **problema:** kokiais būdais kavos aparatas gali būti įtvirtinamas orlaivio BOEING 737–800 virtuvės lentynoje?

Tyrimo objektas – buitinės įrangos komplektacijos modifikacija.

Tyrimo tikslas – nustatyti prielaidas buitinės įrangos komplektacijai modifikuoti orlaivyje BOEING 737–800.

Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti sertifikavimo pagal CS-25 ir Boeing 737 SRM reikalavimus taikomus buitinės įrangos modifikacijai;
2. Atlikti kavos aparato veikiančių jėgų vertinimą ir tvirtinimo elementų tikrinimą.

Tyrimo metodai: tikslinės literatūros analizė, techninės dokumentacijos analizė, stipruminė analizė.

CS-25 ir SRM remonto reikalavimų buiteinei įrangai apžvalga

Kiekviena Civilinių orlaivių sertifikavimo reikalavimų (ICAO) susitariančioji valstybė privalo sukurti savo teisinę bazę. Europos bendrijoje šią veiklą vykdo EASA, suderinta su FAA. EB reglamentas 748/2012 numato aeronautikos produktų (orlaivių, variklių ir oro sraigtų) sertifikavimo tvarką, kurioje 21 dalies taisyklės apima ir projektavimo organizacijos patvirtinimo (DOA) (J poskyris) ir gamybinių organizacijų patvirtinimo (POA) (G poskyris) procedūras.

Yra keletas techninių kodeksų, kurių reikia laikytis siekiant užtikrinti, kad įvairių gaminių ir dalių dizainas visiškai atitiktų visus sertifikavimo reikalavimus. Šis techninis kodeksas, susijęs su dideliais orlaiviais, žinomas kaip CS-25 didelio lėktuvo sertifikavimas. Boeing 737-800 priskiriamas prie didelių lėktuvų dėl anksčiau paminėtų reikalavimų [1].



1 pav. Virtuvės įranga
Šaltinis: [3]

Orlaiviuose Boeing 737 – 800 įrengiant virtuvės įrangą (žr. 1 pav.) komplektacijai naudodavo skirtingų gamintojų virtuvines lentynas ir kavos aparatų modelius. Modifikuojant orlaivį Boeing 737 – 800 keičiama virtuvės įrangos komplektacija, kuri turi atitikti keliamus reikalavimus.

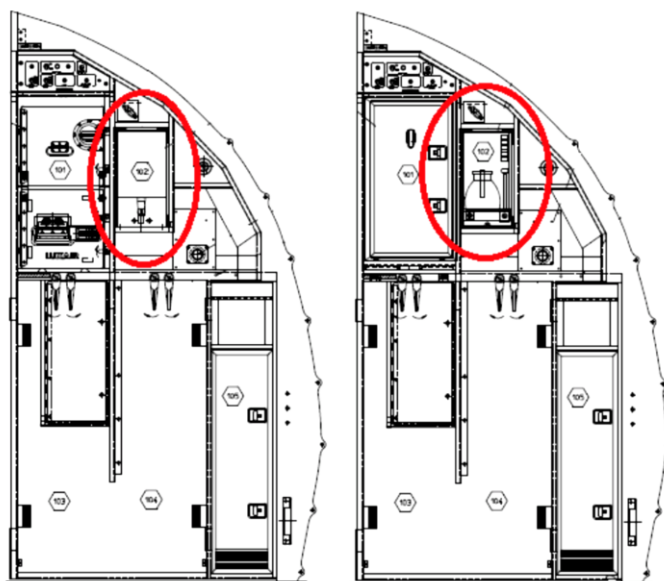
CS-25 reikalavimai orlaivio „Galley“ lentynai. [1] Pagal CS 25.561 sąlygas turi būti numatytos priemonės užtikrinti saugų įrangos tvirtinimą, keleivių ar įgulos skyriuje arba virtuvėje, kad poslinkis netaptų pavojingas patiriant maksimalius apkrovos koeficientus kylant, leidžiantis ir avarinio nusileidimo metu. Kiekvienoje virtuvėje, esančioje keleivių kabinoje ar po ja, bent vienas rankinis gesintuvas turi būti įrengtas arba lengvai pasiekiamas naudoti. Virtuvės ir maisto gaminimo įranga turi būti tokia, kad būtų minimalizuota rizika virtuvės įrangai perkaisti ar užsidegti.

Buitiniai prietaisai, ypač esantys virtuvės zonoje, turi būti įrengti arba apsaugotos taip, kad išvengtų kitos įrangos sugadinimo ar užteršimo nuo skysčių ar garų, kurie atsiranda esant normalioms eksploatacijos sąlygomis, jei tokia žala ar užteršimas gali sukelti pavojų saugiam orlaivio skrydžiui.

SRM remonto reikalavimai Boeing 737-800. [2] SRM (Structural repair manual) katalogas yra išleistas kiekvieno gamintojo nepriklausomai, bet visi turi būti patvirtinti FAA arba EASA organizacijos, priklausomai kuriame regione bus remontuojamas orlaivis. SRM katalogas apibrezia struktūros korozijos, įlenkimų, skilimų ir ibrėžimų galimas ribas, dažniausiai aptinkamas vietas šių pažeidimų ir apsaugo jų remonto galimybes. Kiekvienas komercinis orlaivis turi tokį katalogą ir Boeing 737-800 yra neišimtis. SRM yra dažnai naudojamas katalogas atliekant įprastus bazinius orlaivio aptarnavimus ir ieškant galimų struktūros pažeidimų.

SRM reikalavimai „Galley“ lentynai orlaiviui Boeing 737-800. Modifikuojant orlaivį Boeing 737 – 800 pasirinkta vokiečių kompanijos „Driessen“ gaminama virtuvės lentyna „Galley“ ir gamintojo „BE Aerospace“ kavos aparatas.

„Galley“ lentyna turi atitikti šiuos reikalavimus: 1) lentynai naudojama medžiaga turi būti atspari korozijai; 2) komponentai ir struktūra turi atlaikyti orlaivio patiriamus maksimalius krūvius tupiant ir kylant; 3) lentynos tvirtinimo taškai turi būti tvirtinami tik tam skirtose vietose, nepažeidžiant struktūros ar nesukuriant papildomo darbo atliekant įprastas orlaivio priežiūros procedūras; 4) visiems modifikavimo darbams turi būti atlikta patiriamų jėgų skaičiavimo procedūra ir visi pakeitimai įtraukti į orlaivio priežiūros knygas.



2 pav. Virtuvinės lentynos „Galley G1“: a) su kavos aparatu b) su virduliu
Šaltinis: [4]

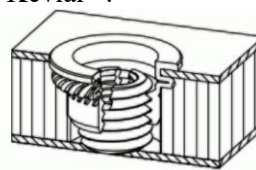
„Driessen“ kompanijos gaminama lentyna turi sumontuotą šaldytuvą ir vandens virdulį. Priėmus sprendimą montuoti kavos aparatą vietoje jau esamo vandens virdulio, lentynos sekcija skirta vandens virduliui puikiai tinka sumontuoti joje kavos aparatą. (žr. 2 pav.) Tam specialiai padaryta atitekančio vandens ir panaudoto vandens nutekėjimo linijos, atvesti elektros laidai.

Lentynos – „GALLEY G1“ konstrukcijos analizė

Orlaivio virtuvės lentyna „Galley G1“ - korinio tipo kompozitinės plokštės, sudarytos iš paviršinių plokštumų (žr. 3 pav.). Šios plokštumos pagamintos iš epoksidinio stiklo pluošto ir vidinio korio, kuris sudarytas iš didelio tankio kevlarinės medžiagos „Gillcore HK Kevlar“.

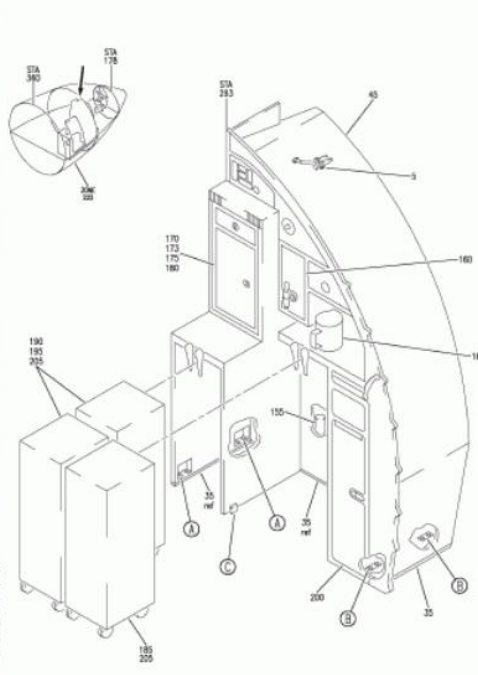


3 pav. Orlaivio Boeing 737-800 virtuvės lentynos Galley G1 konstrukcija
Šaltinis: [4]



4 pav. Kompozitinės plokštės srieginės įvorės skerspjūvis
Šaltinis: [4]

Išoriniai plokštės paviršiai gerai atlaiko tempimo jėgas, o korinis užpildas užtikrina plokštės atsparumą gniuždymui į paviršių. Tokiu būdu gaunama lengva ir tvirta plokštė.



5 pav. Galley G1 konstrukcija a) nuotraukoje ir b) brėžinyje
Šaltinis: [3]

Lentyna daugiausia sudaryta iš stačiais kampais sujungtų kompozitinių plokščių. Plokščių galai išorėje apdengti aliuminiais gaubtais. Plokštės tarpusavyje jungiamos naudojant aliumininis kampuočius (5 pav.). Tose vietose, kur įsukami varžtai į kompozitinę plokštę, naudojamos metalinės srieginės įvorės (insertai). Srieginės įvorės skerspjūvis pateiktas 4 paveiksle.

Kavos aparatui įtvirtinti lentynoje naudojami 4 varžtai M6 X 25mm, kurie rekomenduojami naudoti kavos aparato techninėje dokumentacijoje. Pagal turimus varžtus parenkamos M6 X 14,2 mm srieginės įvorės. Srieginės įvorės išmatavimai ir pagrindinės stipruminės charakteristikos pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė

Srieginės įvorės NAS 1835 – 4 pagrindinės charakteristikos

Sriegis, (inch)	Skersmuo, mm	Montavimo skylės matmuo, mm	Aukštis, mm	Išrovimo jėga (N) nustatyta bandymo metu	Glemžimo jėga (N) nustatyta bandymo metu
¼ - 28	15,5	18,9 – 19,1	14,2	865	1560

Šaltinis: [5]

Srieginių įvorių įklijavimui naudojami dviejų komponentų epoksidiniai klijai DAPCO™ 3040, greitai džiūstantys prie 25°C temperatūros, atitinkantys FAR 25.853 reikalavimus. Skirti dirbti būtent su kompozitinėmis medžiagomis aviacijoje. Epoksidinių klijų DAPCO 3040 charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

2. lentelė

DAPCO 3040 klijų charakteristikos

Kietumas	Tempiamasis stipris MPa	Kerpamasis stipris MPa	Gniuždymo stipris Mpa prie 82°C
70-80	24,13	13,79	6,895

Šaltinis: [6]

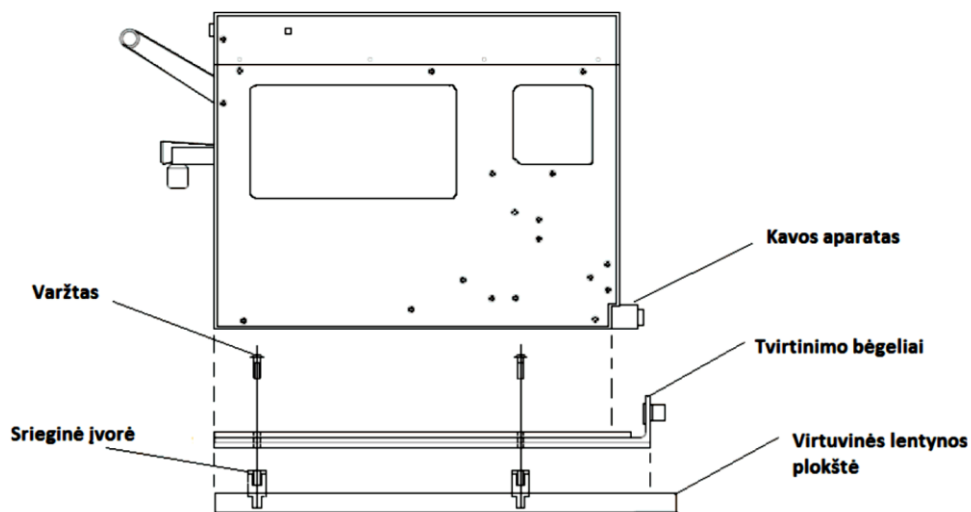
Kavos aparato tvirtinimo tikrinimas

Kavos aparato tvirtinimas turi būti suprojektuotas taip, kad atlaikytų nustatytas perkrovas visomis ašimis kryptimis pagal CS 25 ir FAR 25 reikalavimus, bei turi atitikti reikalavimus pagal Boeing 737 - 800 tipines remonto instrukcijas. Tvirtinimas turi būti pakankamai tvirtas, kad atlaikytų nurodytas perkrovas ir tuo pačiu pakankamai paprastas, kad kavos aparato išėmimas ir sumontavimas neužimtų daug laiko atliekant techninį aptarnavimą.

Galimi įvairūs tvirtinimo variantai:

- 1) kavos aparatas įtvirtinamas į virtuvės lentyną „Galley G1“ panaudojant 8 varžtus, kurie būtų įsukami kiaurai per lentynos plokštės į kavos aparato korpusą;
- 2) kavos aparato įklėjimas į virtuvės lentyną „Galley G1“ naudojant kljus arba hermetiką;
- 3) kavos aparato turinio specialius tvirtinimo bėgelius sumontavimas į „Galley G1“ lentyną 4 varžtais iš apačios.

Trečiasis tvirtinimo variantas yra geriausias. Taip sumontuotą kavos aparatą lengva išimti ir vėl sumontuoti, nereikalauja daug laiko. Kavos aparato tvirtinimo schema pateikta 6 paveiksle.



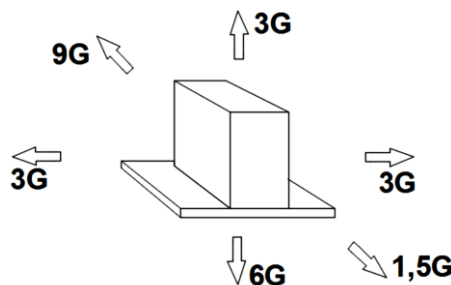
6 pav. Kavos aparato tvirtinimo lentynoje schema

Šaltinis: [3]

Kavos aparatas standžiai įsitvirtina bėgeluose. Tokiu būdu sumontuotą kavos aparatą lengva bet kada išimti ir vėl sumontuoti, pakanka ištraukti saugos kaištį, ir kavos aparatas išlenda iš virtuvės lentynos „Galley G1“. Aliumininiai bėgeliai tvirtinami kavos aparato apačioje prie lentynos plokštės 4 varžtais. Saugos kaištis persikiša per kavos aparato korpusą ir aliuminius bėgelius taip užtvirtindamas kavos aparatą.

Kavos aparato veikiančių jėgų vertinimas

Suprojektuotas kavos aparato tvirtinimas turi atlaikyti maksimalius perkrovų koeficientus, kurie detalai nurodomi dokumente „CS-25“ – skiltyje skirtoje aprašyti keleivių skyriaus įrangos ir konstrukcijų reikalavimus. Skyriuje „Avarinio nusileidimo perkrovos“ nurodomos perkrovos koeficientų vertės yra pateiktos 7 paveiksle.



7 pav. Perkrovos pagal „CS-25“ reikalavimus

Šaltinis: [1]

Kavos aparatą veikiančios jėgos prie nurodytų avarinių perkrovų

Kavos aparato duomenys skaičiavimui: pilna kavos aparato masė – 12,01 kg; kavos aparato išmatavimai: aukštis – 305 mm; ilgis – 390,7 mm; plotis – 160,2 mm.

Lentyna, ant kurios montuojamas kavos aparatas, yra pagaminta iš kompozitinės plokštės Gillfloor 4417 Type IV, plokštės storis 17 mm.

Kadangi yra žinoma pripildyto kavos aparato masė, jėga, kuria spintelė veiks tvirtinimo lentyną, paskaičiuojama pagal formulę:

$$F = m \cdot g \cdot n \cdot f, \quad (1)$$

čia: m – kavos aparato masė, kg; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ; n – eksploatacinės perkrovos koeficientas; f – atsargos koeficientas, 1,5.

Jėgų veikiančių kavos aparatą prie nurodytų avarinių perkrovų skaičiavimo rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė

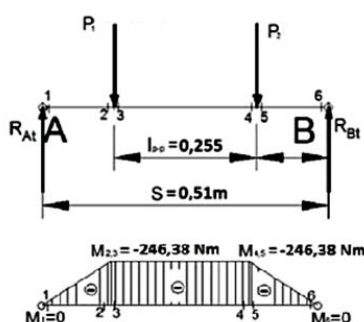
Jėgų skaičiavimo rezultatai

	m , kg	g , m/s^2	n	f	F , N
Jėga veianti į viršų	12,01	9,81	3	1,5	530,18
Jėga veianti į priekį	12,01	9,81	9	1,5	1590,54
Jėgos veikiančios į šonus	12,01	9,81	3	1,5	530,18
Jėga veianti žemyn	12,01	9,81	6	1,5	1060,36
Jėga veianti atgal	12,01	9,81	1,5	1,5	265,09

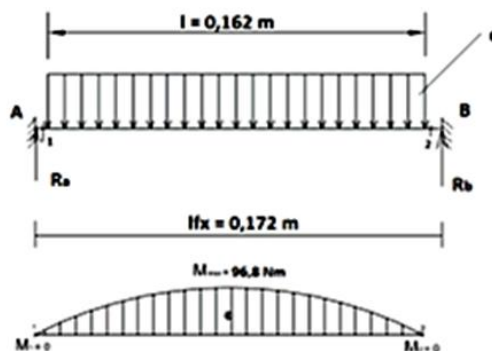
Šaltinis: sudarytas autoriaus

Kompozitinės plokštės atsparumo lenkimui tikrinimas

Skaičiavimas pradeda nuo maksimalių leistinų išilginių įtempių radimo, naudojantis dokumente „BMS 4–17“ pateiktais duomenimis: P (pagal reikalavimus pritaikyta jėga) = 1780 N; h (plokštės storis) = 0,017 m; L_p (atstumas nuo atramos iki veikiančios jėgos) = 0,127 m; L_{p-p} (atstumas tarp veikiančiųjų jėgų) = 0,254 m; c (korinio užpildo storis) = 0,0154 m. Plokštės skaičiuojamoji schema ir lenkimo momentų diagrama pateikiama 8 a paveiksle.



a



b

8 pav. Plokštės atsparumas lenkimui: a) atsparumo skaičiuojamoji schema ir lenkimo momentų diagrama; b) stiprumo skaičiuojamoji schema ir lenkimo momentų diagrama

Šaltinis: sudarytas autorių

Kompozitinės plokštės skerspjūvio inercijos momentas paskaičiuojamas pagal formulę:

$$W_{xt} = \frac{w}{6h} (h^3 - c^3) = \frac{0,076}{6 \cdot 0,017} (0,017^3 - 0,0154^3) = 8,34 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

Didžiausi leistini įtempiai lenkiamai plokštei tikrinami pagal formulę:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{W_{xt}} = \frac{246,38}{8,34 \cdot 10^{-7}} = 295 \text{ MPa} \quad (3)$$

Didžiausias leidžiamas įtempis lenkimo atveju kompozitinei plokštei BMS 4-17 Type IV (storis 17mm) $\sigma_{adm} = 295 \text{ MPa}$. Tęsdami skaičiavimus palyginsime su gautais įtempiais realaus apkrovimo atveju.

Lentynos apatinės plokštės tikrinimas lenkimui. Skaičiuojamosios plokštės duomenys: l_{fx} (atstumas tarp atramų į horizontaliąją plokštę) = 0,172 m; h (plokštės storis) = 0,017 m; c (korinio užpildo storis) = 0,0154 m; l (tolyginis apkrovos atstumas) = 0,162 m.

Lentynos plokštė abiejuose galuose yra standžiai įtvirtinta. Kavos aparatas veikiamas 6G jėgų perkrovos į apačią apkrauna plokštę jėga $F = 1060,36 \text{ N}$ (žr. 3 lentelę).

Išskirstyta apkrova paskaičiuojama pagal formulę:

$$q_x = \frac{m \cdot g \cdot n_{fwd}}{l_{1rx}} = \frac{1060,36}{0,162} = 6550 \text{ N/m} \quad (4)$$

Plokštės stiprumo skaičiavimų schema ir lenkimo momentų diagrama pateikta 8 b paveiksle.

Kompozitinės plokštės skerspjūvio inercijos momentas pagal 2 formulę $W_{xt} = 8,34 \cdot 10^{-7}$

Didžiausi leistini įtempiai lenkiamai plokštei tikrinami pagal 3 formulę:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{max}}{W_{xt}} = \frac{96,8}{8,34 \cdot 10^{-7}} = 118 \text{ MPa}$$

Išvada: Didžiausias įtempis lenkimo atveju kompozitinei plokštei BMS 4-17 Type IV (storis 17 mm) neviršija nustatytos normos. Kompozitinė plokštė atitinka stipruminius reikalavimus pagal „FAR 25“ dokumentą, kuomet kavos aparatas plokštę veikia 6G jėga žemyn.

Tvirtinimo elementų tikrinimas

Varžtų kirpimas ir glemžimas

Varžtų kirpimui kritinis atvejis, kai kavos aparatą veiks 9G jėgų perkrova į lėktuvo priekį. Kavos aparatas prisuktas prie kompozitinės plokštės panaudojant 4 varžtus M6 X 25mm.

Duomenys skaičiavimams paimti iš tvirtinimo elementų gamintojo „Stanley“ katalogo [5]. Varžtas pagamintas iš plieno lydinio, kurio: 1) šlyties stipris yra $M_S = 92 \cdot k_{Si} = 634 \cdot \frac{N}{mm^2}$; 2) stipris tempimui $P_T = 160\,000 \text{ psi} = 11031,1 \text{ N/mm}^2$.

Varžto stiprumas tikrinamas pagal formulę:

$$F \geq F_{varžto} \quad (5)$$

čia: F – maksimali leistina kirpimo jėga vienam varžtui; $F_{varžto}$ – jėga tenkanti vienam varžtui prie 9G kavos aparatą veikiančios perkrovos.

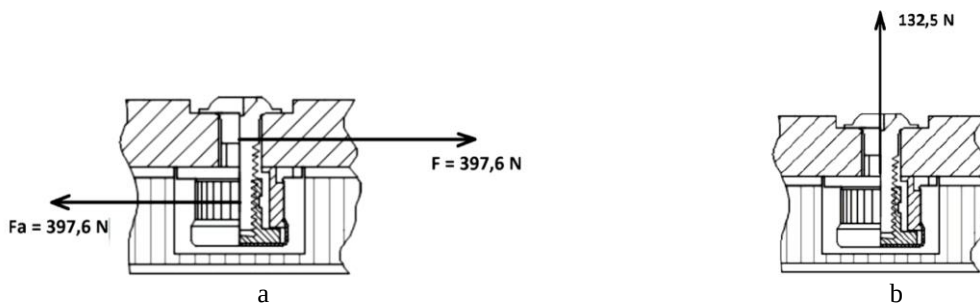
$$F = M_S \cdot A_S \quad (6)$$

čia: M_S - varžto šlyties stiprumas; A_S - varžto darbinė plokštuma.

$$A_S = \pi \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^2 = 26,4 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

čia: $d_s = 5,8 \text{ mm}$ – varžto skersmuo.

Varžto kirpimo schema pateikiama 9 a paveiksle.



9 pav. Tvirtinimo elementų patikra: a) Varžto kirpimui veikiančios jėgos; b) Varžto galvutės glemžimas

Šaltinis: sudarytas autorių

Maksimali leistina kirpimo jėgą varžtui paskaičiuojama pagal formulę:

$$F_{varžto} = \frac{F_{priekinė}}{4} = \frac{1590565}{4} = 397,62 \text{ N} \quad (8)$$

$$F = 634 \cdot 26,4 = 16737,6 \text{ N}$$

Išvada: Prie priekinės apkrovos 9G varžtų, kurie įsukti statmenai plokštumai, stiprumo savybės atitinka „FAR 25“ reikalavimus ir jų stiprumas yra pakankamas: $16737,6 \text{ N} \geq 397,6 \text{ N}$

Varžtų tempimui kritinis atvejis, kai kavos aparatą veiks 3G jėgų perkrova aukšty. Turi būti tenkinama sąlyga, kuomet tempimo jėga tenkanti vienam varžtui neviršija didžiausios leistinos tempimo jėgos vienam varžtui.

$$F_t \geq F_{tempimui} \quad (9)$$

čia: F_t – didžiausia leistina tempimo jėga vienam varžtui; $F_{tempimas}$ – tempimo jėga tenkanti vienam varžtui

$$F_t = P_T \cdot A_{SC} = 11031,1 \cdot 20,1 = 22178 \text{ N} \quad (10)$$

čia A_{SC} - varžto kamieno plotas skaičiuojamas pagal formulę:

$$A_{SC} = \frac{(d_s - 0,74)^2}{4} = 20,1 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

Tempimo jėga skaičiuojama pagal formulę:

$$T_{tempimo} = \frac{F_{i\ viršų}}{4} = \frac{530,18}{4} = 132,5\ N \quad (12)$$

Išvada: Prie priekinės apkrovos 9G varžtų, kurie įsukti statmenai plokštumai, stiprumo savybės atitinka „FAR 25“ reikalavimus ir varžtų stiprumas yra pakankamas: $22178\ N \geq 132,5\ N$

Varžtų galvutės glemžimui kritinis atvejis (žr. 9 pav., b), kai kavos aparatą veiks 3G jėgų perkrova į viršų. Varžtus galima laikyti pakankamai stipriais, jei tenkinama ši sąlyga: jėga tenkanti vienam varžtui neviršija maksimalios leistinos glemžimo jėgos vienam varžtui.

$$F_g \geq F_{tempimui} \quad (13)$$

Glemžimo jėga skaičiuojama pagal formulę:

$$F_g = P_s \cdot A_g, \quad (14)$$

čia: P_s – varžto medžiagos šlyties stiprumas; A_g – varžto galvutės glemžiamoji darbinė plokštuma, skaičiuojama pagal formulę:

$$A_g = \pi \cdot \left(\frac{d_g}{2}\right)^2 - \pi \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^2 \quad (15)$$

čia: $d_s = 5,8\ mm$ – varžto kamieno skersmuo; $d_g = 11,4\ mm$ – varžto galvutės skersmuo.

$$A_g = 3,14 \cdot \left(\frac{11,4}{2}\right)^2 - 3,14 \cdot \left(\frac{5,8}{2}\right)^2 = 76,7\ mm^2$$

Maksimali leistina glemžimo jėga varžtui: $F_g = 634 \cdot 76,7 = 48627\ N$; $T_{tempimo} = 132,5\ N$

Išvada: Prie 3G kavos aparato apkrovos nukreiptos į viršų, varžto galvutės stiprumo savybės glemžimui atitinka „FAR 25“ reikalavimus ir varžtų stiprumas yra pakankamas: $48627\ N \geq 132,5\ N$.

Srieginės įvorės išrovimas ir glemžimas

Jėga veikianti srieginę įvorę išraunant yra ta pati jėga $F_{tempimo}$. $F_{Ip} \geq F_{tempimui}$ F_{SG} – didžiausia jėga, kurią atlaiko raunama srieginė įvorė, $865\ N$ [5]. Srieginės įvorės rovimos schema pateikta 10 a paveiksle.



10 pav. Srieginės įvorės patikra: a) Jėga raunanti srieginę įvorę; b) Jėga apkraunanti srieginę įvorę glemžimui

Šaltinis: sudarytas autorių

Išvada: Tempiamos srieginės įvorės atitinka „FAR 25“ reikalavimus ir atlaiko išplėšimo apkrovas, kavos aparatui veikiant 3G jėgomis į viršų: $865\ N \geq 132,5\ N$.

Srieginės įvorės glemžimo jėga (žr. 10 pav., b) yra ta pati, kuri skaičiuota varžto kirpimui ir glemžimui $F_{varžto} \cdot F_{CC} \geq F_{varžto}$ F_{CC} – didžiausia galima jėga srieginės įvorės glemžimui, $1560\ N$ [5]. Srieginės įvorės glemžimo schema pateikiama 10 b paveiksle.

Išvada: Srieginės įvorės atitinka „FAR“ reikalavimus. Jos pakankamai stiprios, kad atlaikytų apkrovą, kurią sukelia kavos aparatas veikiamas 9G jėgų priekinės perkrovos: $1560\ N \geq 397,6\ N$.

Išvados

1. Remiantis CS-25 bei SRM reikalavimais, buitinė orlaivių įranga privalo būti atspari perkaitimui, korozijai, neapsunkinti techninio aptarnavimo užduočių mechanikui, nepažeisti orlaivio struktūros.

2. Atlikus buitinės įrangos modifikaciją nustatyta, kad: plokštę veikiantis didžiausias įtempis yra $118\ MPa \leq 295\ MPa$; varžto kirpimo jėga – $16737,6\ N \geq 397,6\ N$; varžto stipris tempimui – $20738\ N \geq 132,5\ N$; varžto glemžimas – $48627\ N \geq 132,5\ N$; srieginės įvorės glemžimo jėga – $1560\ N \geq 397,6\ N$. Įsitikinta, jog buitinės įrangos modifikacija atitinka nustatytas ribas, kurios yra nurodomos CS-25 ir FAR-25 dokumentuose.

Literatūra

1. AIRBUS GALLEYS. [interaktyvus]. AIRBUS A319/A320/A321 GALLEYS [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga Internetu: https://www.air-works.eu/portfolio_category/interiors-galleys/

2. Dapco 3040 Edge Filling Epoxy [interaktyvus] DAPCO 3040 datasheet. [žiūrėta 2023-11-08]. Prieiga Internetė: <https://www.asap-aerospace.com/part-types/dapco-3040-edge-filling-epoxy/>
3. EASA CS 25 Requirements. [interaktyvus] Subpart F – Equipment. [žiūrėta 2023-10-10]. Prieiga Internetė: <<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/agency-measures-docs-certification-specifications-CS-25-CS-25_Amdt-3_19.09.07_Consolidated-version.pdf>>
4. Galley G1-G4. [interaktyvus]. Galley G1 datasheet. [žiūrėta 2023-11-06]. Prieiga Internetė: <<https://www.aerocontact.com/en/virtual-aviation-exhibition/product/516-galley-g1-airbus-a319>>
5. Manual FAR 25 Requirements. [interaktyvus] Subpart F – Equipment. [žiūrėta 2023-10-10]. Prieiga Internetė: <<https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-25/subpart-F>>
6. NAS 1835-4 insert. [interaktyvus]. NAS 1835 – 4 datasheet. [žiūrėta 2023-11-08] Prieiga Internetė: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1147100/WITTEN/NAS1832-3-4M.html>>

ASSUMPTIONS FOR MODIFICATION OF GALLEY EQUIPMENT IN BOEING 737 – 800 AIRCRAFT

Summary

An aircraft galley is an integral part of aircraft, providing space for crew members to prepare food and beverages and provide service to customers. When modifying the Boeing 737-800 aircraft kitchen equipment, emphasis is placed on kitchen shelves and coffee machines from certified manufacturers. There are several technical codes that must be followed to ensure that the design of various products and parts fully meets all certification requirements.

Key words: Boeing 737 - 800 equipment set, BE Aerospace coffee machine, aircraft galley shelf "Galley G1".

**PROFESINIŲ IR BENDRŲJŲ KOMPETENCIJŲ UGDYMAS: GEROSIOS PRAKTIKOS
PAVYZDŽIAI**

FACTORS AFFECTING STUDENTS' ADAPTATION IN FOREIGN STUDY COUNTRY

Lina Girdauskienė, Miglė Girdauskaitė

Kauno Technikos Kolegija

Summary

Studies have shown that the lack of adaptation to foreign study countries can lead to higher dropout rates. For this reason, the issue of student adaptation is significantly important, and was analyzed in this research. The article examines the factors affecting students' adaptation in foreign study countries. To conduct the research, the Student Adjustment to College Questionnaire was utilized in the shape of qualitative methods. Therefore, a range of first- year students were interviewed to obtain the necessary data. The objectives were to determine the definition of students' adaptation in foreign study universities and its main characteristics, to establish the positive and negative aspects influencing international students' ability to integrate into the foreign environments, and to evaluate those factors, in respect of making recommendations. The results showed that the area which was the most uncomplicated to transform into was the academic one, while the hardest one was the personal- emotional adaptation to foreign study countries.

Key words: academic adaptation, social adaptation, emotional adaptation, foreign study country.

Introduction

According to OECD's 2022 statistics, between 2000 and 2021, the number of international students among the top seven destinations has increased significantly by 70%, totalling nearly 4.5 million international students (OECD, 2022). These numbers clearly display the recent rapid process of internationalization of students worldwide. According to Smith (n.d.), internationalization in education is "the ability for teaching and learning to be increasingly involved with international cultures in order to enhance globalized learning."⁷ Although this concept promotes tertiary education among the youth and alleviates the process of moving and adapting to a foreign country to study, it is nonetheless accompanied by universal challenges that all international students cope with. The Education Inspectorate report has shown that "International students at universities in the Netherlands are almost three times more likely to drop out in their first year than their Dutch counterparts." (Times, 2022). These numbers pose important questions on aspects within the study host countries which affect such international students' behavior. Therefore, this research will aim to determine the definition of students' adaptation in foreign study universities and its main characteristics. This demarcation will then aid in establishing the factors affecting students' adaptation in unfamiliar study environments. Lastly, those factors will be evaluated and recommendations will be made.

Theoretical background

To reach the first objective, the definition of students' adaptation to foreign study environments should be first established. According to Salami (2011), student adaptation, or adjustment as he phrases it, "could be seen as a condition or state in which one feels that one's needs have been (or will be) fulfilled and one's behaviors conforms to the needs of a given environment." (Salami, 2011). Martin et al., 1999; Sennett, Finchilescu, Gibson, Strauss, 2003 say studies have shown that such an adjustment allows students to excel more during their first- year, follow up studies and the overall academic achievement (Abdullah, Kong, Talib, 2014)

To attain a sufficient level of adaptation, certain aspects need to be fulfilled. According to Baker and Syrik (1987), important dimensions of adjustment to university are the academic, social and personal-emotional adjustment of students, which are all considered in this research (Paramo, Tinajero, Soledad, 2015)

Academic adaptation takes into account "how well students deal with educational demands, such as motivation to complete academic requirements, academic effort and satisfaction with academic environment" (Salami, 2011). For this research, the interviews' questions respect four areas of students' academic integration. Firstly, the initial academic goals regarding the choice of the university itself and the study programme are examined, as this shows how attached the students become to the study environment, helping them adapt better. The next research area is the motivation to study and involve themselves (students) into the academic space, which greatly correlates with the third research area of academic self-esteem. Both of these present the inner workings of students' minds in respect to how they perceive their personal skills and preparation to study. Lastly, the area of academic environment is studied, since this demonstrates the institutions' ability and preparedness for the students.

Salami (2011) explains social adaptation, as the inclusion of the students' involvement in social activities and satisfaction with various aspects of college experience. For this research, the category of social adjustment involved another set of four aspects. The first are goals and motivation regarding the students' personal choices and ambitions towards socialization. Then their social self- esteem is analyzed to once again

study how the internal mechanism of the first- year students' affect their adaptability levels. Lastly, the interview incorporates questions regarding social participation which essentially measures the realistic amount of involvement.

The last type of adaptation into new environments that is studied is the personal- emotional adjustment. Although Salami (2011) defines it as "students' proneness to emotional problems, such as manifestation of depressive symptoms", this research utilizes a more extensive approach, which also considers the physical changes and how they affect the students' ability to adapt.

Methodology

The first step in this course of achieving the objectives was to choose the informants who are the object of the issues raised. The chosen age group was limited to first- year students from universities, whose age ranged between 18 to 25 years old. Such a group fitted this research, as it is these early years in educational institutions which are the most critical for adaptation to the new cultures and study environments.

The research participants were also coming from a large scope of countries (such as Lithuania, Poland, Bulgaria) and were studying in an equally diverse amount of countries (the Netherlands, Ireland, United Kingdom), which guarantees valuable opinions from different perspectives, yet observes patterns of adaptive behavior that the students tend to display (as seen in table 1).

The amount of students chosen to participate was also important, as to include a variety of experiences, even so ensuring a limited extent of redundancy. According to Creswell and Creswell (2018), between 10 and 50 participants are sufficient for qualitative research, thereby this research initially selected 24 participants adhering to previously mentioned criteria. Another method enforced in the selection of participants was the principle of saturation, which pursuant to Glaser and Strauss (1967) meant that "no additional data was being found where the researcher can develop properties of the category. As similar instances were seen over and over again, the researcher became empirically confident that the category is saturated." Therefore, the data from collected interviews were analyzed as far as a pattern of repetition was observed and the principle of saturation was satisfied (after 8 interviewed students).

To conduct this research, qualitative methods of study were utilized. The answers from students regarding their adaptation to foreign study countries were obtained through the medium of interviews. This form of research was chosen to "explore many respondents more systematically and comprehensively as well as to keep the interview focused on the desired line of action" (Pharm, 2014). The interview questions were based on Baker and Siryk (1984/1989), and Dahmus and Bernardin's (1992) published Student Adjustment to College Questionnaire (SACQ). However the number of questions was reduced to fit into the model of qualitative research, as the primary method of the former SACQ was designed for quantitative research.

Lastly, the data processing also had a certain method, which was particular to this research. The results in tables 2- 4 included data marked by symbols '+' and '-', which signify the number of positive and negative aspects the informants were able to provide regarding their adaptation to the foreign study countries. Such a method of symbols was used to directly and clearly display the amount of reasons for weighing them and reaching the objectives.

Table 1

Demographic data of the informants'

Informant	Home country	Study country	Study sphere	Interview duration, min
I1	Lithuania	Ireland	Liberal arts	14
I2	Lithuania	The Netherlands	International law	16
I3	The Netherlands	The United Kingdom	International law	18
I4	Lithuania	The Netherlands	International law	20
I5	Poland	The Netherlands	International law	19
I6	Lithuania	The Netherlands	Sports	18
I7	Bulgaria	The Netherlands	International business	12
I8	Lithuania	The Netherlands	Liberal arts	11

Results

Tables 2, 3 and 4 show the informants' answers regarding three categories and ten subcategories of students' adaptation in a foreign study country. Each of the interviewed informants indicated factors, which either positively or negatively impacted their ability to adjust to the unfamiliar study environment.

Table 2

Informants' answers regarding aspects promoting/ hindering academic adaptation

Aspects promoting/ hindering academic adaptation	Informants' answers								
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
Goals		+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+1
		-0	-1	-0	-0	-0	-0	-0	-1
	Motivation	+3	+2	+2	+4	+1	+1	+0	+0
		-2	-1	-1	-4	-1	-1	-1	-3
	Academic self- esteem	+1	+2	+2	+2	+1	+0	+0	+2
		-2	-1	-0	-1	-2	-1	-1	-3
Academic environment		+2	+2	+1	+1	+1	+1	+1	+1
		-0	-0	-0	-2	-0	-0	-1	-0

Table 2 shows that the informants were able to provide more factors that aid them to adapt academically, since they each provided between 1.25 and 1.875 positive reasons, in comparison with only providing between 0.25 and 1.75 negative ones.

Table 3

Informants' answers regarding aspects promoting/ hindering social adaptation

Aspects promoting/ hindering social adaptation	Informants' answers								
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
Goals		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+0	+1
		-0	-0	-0	-0	-1	-0	-1	-0
	Motivation	+3	+1	+1	+1	+0	+0	+0	+2
		-2	-3	-1	-3	-0	-0	-1	-1
	Social self- esteem	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+2	+0
		-0	-1	-0	-0	-0	-0	-0	-0
Social participation		+5	+0	+3	+0	+2	+2	+2	+2
		-1	-3	-1	-1	-1	-0	-1	-2

Similarly, table 3 demonstrates that the interviewees on average gave from 0.875 to 2 reasons for each subcategory of positive reasons, and only provided from 0.25 to 1.375 negative factors for adapting socially. This might suggest that the students have less difficulties integrating into the new environments socially, or that at least they are able to rely on more positive factors when doing so.

Table 4

Informants' answers regarding aspects promoting/ hindering personal- emotional adaptation

Aspects promoting/ hindering personal- emotional adaptation	Informants' answers								
		I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
Physical		+2	+3	+1	+1	+2	+1	+1	+2
		-6	-4	-1	-4	-0	-1	-2	-0
Psychological		+2	+2	+1	+0	+0	+1	+0	+1
		-3	-2	-1	-3	-1	-1	-3	-3

On the other hand, table 4 exhibits informants' tendency to communicate more hindering factors, regarding their personal- emotional adaptation. The answers for positive aspects ranged from 0.875 to 1.625

reasons, which was significantly lower in comparison with the answers for negative aspects, which ranged from 2.125 to 2.25 aspects. These results may suggest that the interviewed students are more able to integrate themselves into the university environment academically and socially, yet they lack the means or skills doing so on a personal- emotional level. An especially challenging area of adaptation for students were the physical changes that are inevitable when having to relocate to a foreign country, specifically when that country does not have a similar climate, economy or culture.

Table 5

Positive and negative factors affecting students' academic adaptation

Category	Subcategory	Positive factors	Negative factors
Students' academic adaptation	Goals	Satisfactory choice of university (I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8)	University's faculty being underfunded/ understaffed (I2)
		Chosen programme amounting to expectations (I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7)	Chosen programme being worse than expected (I8)
	Motivation	Interesting and challenging studies (I1, I3, I4)	Not having access to study material or tools (I1, I4, I8)
		Personal discipline (I1, I2, I3, I4)	Lack of personal discipline (I1, I7, I8)
		Gaining satisfaction from working/ getting satisfactory results (I1, I4)	Language barrier (I4, I6, I8)
		Pressure from professors/ students (I2, I4)	Feelings of home- sickness (I4)
		Career opportunities (I5, I6)	Not enough attention to students' needs (I2, I3, I4, I5)
	Academic self-esteem	Getting satisfactory results (I1, I2, I3, I4)	Unrealistic expectations/ unreasonable grading system (I1)
		Help from university regarding study issues (including mock exams and consultations) (I2, I4)	Lack of time management skills (I1, I2, I5, I8)
		Interest in the subject (I3, I8)	Mental issues (stress, anxiety, lack of confidence) (I4, I8)
		Having a support system (I5, I8)	Getting dissatisfactory results (I5, I6, I7, I8)
	Academic environment	Being surrounded by open- minded, helpful, respectful people (I1, I2, I3, I5, I6)	Uncomfort caused by large- scale lectures (I4)
		Feeling welcome/ getting equal treatment (I1, I2, I8)	Feeling unwelcome (I4, I7)

Tables 5, 6 and 7 present a different view on the students' ability to adjust to the foreign study country, as they directly display the specific factors that influence adaptability. Specific quotes are given as evidence to informants' answers regarding certain factors impacting their adjustment.

Table 5 depicts the informants' answers on the subject of academic integration, where individual reasons impacting the students were given for each subcategory. This table demonstrates that the main factor helping the interviewees adapt in the academic sphere is their satisfactory choice of university (all answered positively) and their chosen programme amounting to expectations (87.5% answered positively). Such results may suggest that the key to adapting academically in a foreign country lies within the students' goals of choosing the right university and pursuing the most interesting programme. Although, there is a clear aspect that promotes adaptability in students the most, the table showed that there was a lack of concrete factors hindering the student from adjusting academically. The three main reasons which discouraged the adaptation process were lack of time management skills, getting dissatisfactory results, and not having enough attention dedicated to students, which were all answered positively by 50%. This data also demonstrates that the majority of the mentioned factors are caused not by the academic environment or individual motivation, but that they stem from the personal issues regarding the students' academic self- esteem.

I4: I feel very happy with the university that I have chosen. I love its architecture, its staff, I find its students very funny, smart, dedicated, and overall I love the achievements or the things that the university has achieved.

I8: Asking for help is way harder here. I feel significantly less comfortable in the classrooms, but it might also be because of the language barrier.

Table 6

Positive and negative factors affecting students' social adaptation

Category	Subcategory	Positive factors	Negative factors
Students' social adaptation	Goals	Wanting to socialize (I1, I2, I3, I4, I5, I6, I8)	Not wanting to socialize due to personal issues (I7)
	Motivation	Interest in cultures/ languages, traditions (I1, I3)	Difficulties to find people with mutual feelings (I1, I2, I4, I8)
		Wanting friends/ support system (I1, I2, I8)	Cultural or language barrier (I1, I2, I3, I4)
		Feeling lonely (I4)	Mental issues or lacking courage/ confidence to socialize (I2, I4, I7)
		Communicating open- minded and easy going people (I1, I3, I8)	
	Social self-esteem	Working in group projects (I1, I2, I7)	Not getting opportunities to collaborate/ having to work independently (I2)
		Attending events/ parties (I6)	
		Being curious/ eager to find people with similar interests (I3, I4, I7)	
		Being on the Internet (I5)	
	Social participation	Communicating with students/ professors/ university staff (I1, I5, I6, I7)	Working in auditoriums instead of smaller classrooms (I1, I2, I8)
		Working in small- scale groups (I1)	Cultural and language barrier (I2)
		Attending university/ student association organized events (I1, I3, I8)	Having a large workload from university/ other responsibilities (I2, I3)
		Being a part of the university community (I1, I3, I7, I8)	Not being a part of the university community (I4, I5)
		Establishing meaningful relationships (I1, I3, I5, I6)	Not having friends (I7, I8)

Table 6 displays the informants' individual reasons on the subject of socially integrating within the university sphere. Likewise in the former table, this one presents a clear- cut aspect that promotes social adaptation, which was the students' inner wish to socialize, since 87.5% gave positive results. The other student- listed elements encouraging social integration which were repeated the most were communicating with students/ professors/ university staff, and establishing meaningful relationships, which both belong to the subcategory of social participation. Contrary to the previous data, the interviewees were not successful at providing negative aspects influencing their social adaptation. Therefore, the most common reason that was mentioned by only half of the asked was the cultural and language barrier, which directly correlates with the informants' given answer regarding the positive aspect helping them to adapt socially.

I8: I have difficulty building close and meaningful friendships here. I feel like all of my friends are only surface level.

I6: I am very friendly and love to talk and meet new people. It's like my hobby.

Table 7

Positive and negative factors affecting students' personal- emotional adaptation

Category	Subcategory	Positive factors	Negative factors
Students' personal-emotional adaptation	Physical	Positive changes in appetite (I2, I5, I6, I8)	Negative changes in appetite (I1, I4)
		Being physically active (I1, I2, I4)	Lack of time to take care of yourself (I1, I8)
		Having adult responsibilities (I2, I3)	Lack of financial resources (I1)
		Having a comfortable living situation (I5)	Weight loss/ illnesses/ no immune system, because of the foreign environment (I1, I2, I3, I4, I7)
		Having free time to pursue hobbies (I7)	Living with difficult roommates (I1, I2, I4, I8)
		Having a part-time job (I1)	Accommodation issues (expenses, scarcity, mold, poor quality, commuting) (I1, I2, I6)
	Psychological	Practicing gratefulness (I1, I2, I3)	Lack of motivation to take care of yourself (I1)
		Connecting with people/ belonging (I1, I2, I3, I6)	Stress from financial challenges (I1, I2)
			Stress from assignments, exams, working, settling (I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8)
			Feeling alienated/ not belonging (I4)
			Feeling home-sick (I7, I8)
			Other mental health issues (I4, I7, I8)

The last table demonstrates the students' given factors in respect to their capability to adjust to the foreign environment on a personal- emotional level. Table 7 showed that students encounter the most difficulties in this area of integration. This is so, because all of those who answered mentioned problems regarding stress from assignments, exams, working or settling, which clearly presents the inevitable psychological factors that hinder the students' from properly adapting emotionally. Other common answers concerning negative aspects for emotional adaptability were weight loss/ illnesses/ no immune system (62.5% answered positively), and living with difficult roommates (50% answered positively). However, the interviewees indicated less clear positive aspects promoting emotional adjustment, since the most common answers were agreed upon only by 50% of those who were asked. The replies were positive changes in appetite, and connecting with people/ belonging.

I1: Another thing which is not ideal <...> is that the building that I live with is pretty old and some things just don't work as they should, so from time to time I have to contact the maintenance team so they could come and fix it.

I3: I experience stress, sometimes it's difficult to manage time well and find a balance in life. Also the fact that it is a completely new life in a new country plays a significant role.

I6: I have mold at my home. So it's pretty bad situation with living here

Conclusion

The conducted research was able to determine the definition of student adaptation, and each of the students' adaptability to foreign study countries' characteristics, which were academic, social, and personal-emotional adaptation. This finding aided in establishing the certain factors which affect the process of integration into new environments, either positively or negatively. The results showed that the area which

was the most uncomplicated to transform into was the academic one. In this sphere, the interviewed informants provided the greatest amount of beneficial and affirmative factors that assisted their adaptation process. Despite students having the easiest integration process into the academic space, the results also revealed that the majority of the questioned informants struggle to adapt on a personal- emotional level to foreign study countries. Therefore, some recommendations must be made here. Because the answers showed that most of the negative factors were caused due to external forces, such as accommodation issues, roommates, changes in overall well- being, the suggested strategies will be aimed at the countries themselves, who host, to aid combat the hardships of essentially physical integration processes. According to Qadeer, Javed, Manzoor, Wu, and Zaman's (2021) research, "international students, in general, are willing to recommend their current institute to future international students based on their accommodation experience", therefore they suggested that "institutions must review their accommodation facilities to determine whether all of the necessary amenities have been provided. This review would include ensuring that the environment of dormitories is suitable for studying and the dormitories are situated not far from school." (Qadeer, Javed, Manzoor, Wu, Zaman, 2021). This strategy could be applied universally, as all of the interviewed informants complained about extensive commuting, poor quality, scarcity issues or mold. The same researchers also provided recommendations regarding students' health, which was another physical factor affecting informants' adaptation negatively. Qadeer, Javed, Manzoor, Wu, and Zaman (2021) suggest "institutions should inform incoming students about the health facilities available for them, <...> guide if international students have to purchase health insurance, <...> clearly explain the extent of this health insurance coverage." (Qadeer, Javed, Manzoor, Wu, Zaman, 2021)

References:

1. Abdullah, M. C., Kong, L. L., & Talib, A. R. (2014). Perceived Social Support as Predictor of University Adjustment and Academic Achievement Amongst First Year Undergraduates in a Malaysian Public University. *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 11, EJ1137257. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1137257.pdf>
2. Creswell, J.W. & Creswell, J.D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative and mixed methods approaches* (5th ed). Thousand Oaks: SAGE
3. *J Basic Clin Pharm.* September 2014-November 2014; 5(4): 87–88
4. Glaser BG, Strauss AL. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine; 1967.
5. Organization for Economic Co-operation and Development. (2022, December 12). *Rising international student mobility*. OECD. Retrieved December 5, 2023, from <https://www.oecd.org/coronavirus/en/data-insights/rising-international-student-mobility>
6. Salami, S. O. (2011). Psychological predictors of adjustment among first year college of education students. *US-China Education Review*, 8(2), 239-248.
7. Qadeer T, Javed MK, Manzoor A, Wu M, Zaman SI. The Experience of International Students and Institutional Recommendations: A Comparison Between the Students From the Developing and Developed Regions. *Front Psychol.* 2021 Aug 13;12:667230. doi: 10.3389/fpsyg.2021.667230. PMID: 34484030; PMCID: PMC8415018.
8. Smith, C. (n.d.). 5.3 *Internationalization in education*. Pressbooks. <https://ecampusontario.pressbooks.pub/ticl/chapter/5-3-internationalization-in-education/>
9. Times, N. (2022, October 24). International students 3 times more likely to drop out in first year than Dutch students. *NL Times*. <https://nltimes.nl/2022/10/24/international-students-3-times-likely-drop-first-year-dutch-students>
10. Páramo, M^a & Tinajero Vacas, Carolina & M. Soledad, Rodriguez. (2015). Levels of adjustment to college, gender and academic achievement in first-year Spanish students.

VEIKSNIAI VEIKIANTYS STUDENTŲ ADAPTACIJĄ UŽSIENIO STUDIJŲ ŠALYSE

Santrauka

Tyrimai parodė, kad nepakankamas prisitaikymas prie užsienio studijų šalių gali lemti didesnę išeinančiųjų skaičių. Dėl šios priežasties studentų adaptacijos problema yra svarbi ir buvo analizuojama šiame tyrime. Šiame straipsnyje nagrinėjami veiksniai, darantys įtaką studentų adaptacijai užsienio studijų šalyse. Tyrimui atlikti buvo panaudotas studentų prisitaikymo prie kolegijos klausimynas kokybinių metodų forma. Todėl, norint gauti reikiamus duomenis, buvo apklausta grupė pirmakursių. Tyrimo tikslai buvo nustatyti studentų adaptacijos užsienio studijų universitetuose sąvoką ir pagrindines jos charakteristikas; nustatyti teigiamus ir neigiamus aspektus, turinčius įtakos tarptautinių studentų gebėjimui integruotis į užsienio aplinką, ir įvertinti šiuos veiksniai teikiant rekomendacijas. Rezultatai parodė, kad studentams buvo lengviausiai transformuotis į akademinę sritį, o sunkiausia – asmeninę-emocinę užsienio studijų šalyse.

VEIKSNIAI LEMIANČIUS STUDENTŲ PASIRINKIMĄ STUDIJUOTI UNIVERSITETINĖJE AR AUKŠTOJOJE NEUNIVERSITETINĖJE MOKYKLOJE

Lina Girdauskienė, Ugnė Savanevičiūtė, Beata Bučelytė
Kauno technikos kolegija

ANOTACIJA

Straipsnis tiria veiksnius, lemiančius studentų sprendimą studijuoti aukštojoje universitetinėje arba aukštojoje neuniversitetinėje mokykloje. Remiantis apklausos analize, buvo nustatytas asmeninių siekių, šeimyninių lūkesčių, ekonominių priežasčių ir visuomenės nuostatų poveikis studentų aukštojo mokslo įstaigos pasirinkimui.

Reikšminiai žodžiai: studijų pasirinkimas, universitetas, kolegija, studijos, aukštoji mokykla.

IVADAS

Aukštosios mokyklos pasirinkimas - vienas svarbiausių ir atsakingiausių žingsnių jauno žmogaus gyvenime. Tai parengiamasis etapas profesiniam gyvenimui (Matulcikova ir kt., 2021), todėl labai svarbu įvertinti tiek jauno žmogaus lūkesčius ir savo karjeros įsivaizdavimą, tiek ir aukštųjų mokyklų siūlomas studijų programas bei jų suponuojamas galimybes sėkmingai įsidarbinti po studijų baigimo. Kiekvienais metais abiturientai susiduria su šiuo svarbiu ir neišvengiamu sprendimu ir dažnas iš jų sprendžia dilemą ką rinktis - universitetinę arba aukštąją neuniversitetinę mokyklą (kolegiją). Universitetai dažniau asocijuojasi su didesne orientacija į teoriją, tuo tarpu kolegijose akcentuojamas praktinis ugdymas. Tačiau Stöver ir Sibbertsen (2020), įvertinę 33 aukštųjų mokyklų veiklos efektyvumo kriterijus, nustatė, kad nėra reikšmingo skirtumo tarp universitetų ir taikomųjų mokslų universitetų veiklos efektyvumo. Reiktų pažymėti, kad tyrimas buvo vykdytas Vokietijoje, kur taikomųjų mokslų universitetai susikūrė institutų, bet ne technikumų bazėje, kaip pavyzdžiui Lietuvoje. Vis gi, aukšti reikalavimai mokslinių tyrimų lygiui ir jų integracijai į studijų procesą, leidžia Stöver ir Sibbertsen (2020) tyrimo rezultatus priimti domėn, darant prielaidą, kad Lietuvoje skirtumai tarp studijų universitete ar kolegijoje įgalina šias skirtingų tipų švietimo įstaigas laikyti konkurentėmis.

Aukštosios mokyklos pasirinkimas yra kompleksinis sprendimas, kuriam įtakos turi daug veiksnių. Pagalbos ieškoma internete, kur informacija ne visada yra tiksli ar net sunkiai randama, draugų, pažįstamų ir šeimos rate, kuriame kiekvieno nuomonė gali būti skirtinga, priklausomai nuo mąstymo ir patirties. Suprasti šio sprendimo kompleksiskumą svarbu ne tik švietimo įstaigoms, siekiančioms pritraukti studentus, bet ir politikos formuotojams bei pedagogams, siekiantiems padidinti aukštojo mokslo sistemų prieinamumą ir veiksmingumą, ir žinoma, jauniems žmonėms, kurių sprendimas lems jų tolimesnę karjerą.

Tyrimo tikslas yra nustatyti, kokie veiksniai daro įtaką studentų aukštosios mokyklos pasirinkimui ir ar veiksnių svarba skiriasi tarp pasirinkusiųjų universitetą arba kolegiją.

Nagrinėdami persipynusias socialinių ir demografinių charakteristikų įtaką straipsnyje siekiama visapusiškai suprasti veiksnius, nukreipiančius studentus į aukštąsias mokyklas.

Veiksnių, lemiančių studentų aukštosios mokyklos pasirinkimą, teorinis pagrindimas

Narinėjant veiksnius, lemiančius aukštosios mokyklos pasirinkimą, galima rasti daug straipsnių, kuriuose gilinamasi į šį probleminį klausimą. 1 lentelėje apibendrinti skirtingų autorių tyrimai, atskleidžiant kokius veiksnius jie akcentavo, tiriant aukštųjų mokyklų pasirinkimą. Studijų kokybė turi itin didelę reikšmę būsimiems studentams, nes ji daro didelį poveikį įvairiems jų asmeninio ir profesinio gyvenimo aspektams, tad daugelis mokslininkų (Nor ir kt., 2018; Gaspar ir Soares, 2021; Hieu ir kt., 2020) tai įvardino kaip vieną svarbiausių kriterijų. Platus studijų modulių ir programų pasirinkimas įgalina pasirinkti darbo rinkai aktualiausias specialybes (Shanka ir Taylor, 2006) ir įgalina būsimą studentą lengviau įsitvirtinti konkurencingoje darbo rinkoje bei pasitikėti įgytomis žiniomis.

Autorių išskirti veiksniai lemiantys aukštosios mokyklos pasirinkimą

Autoriai	Studijų kaina	Įstaigos reputacija	Studijų kokybė	Programų įvairovė	Šeimos, draugų, brolių, seserų įtaka	Vieta	Saugumas	Socialinis gyvenimas	Darbo perspektyvos	Infrastruktūra	Nuostatos	Galimybė įsidarbinti netoli universiteto	Įstojimo galimybės	Konsultacijos stojant
Nor ir kt. (2018)	+	+	+	+	+	+			+	+	+			
Gaspar ir Soares (2021)	+	+	+	+	+	+		+	+					
Emon ir kt. (2023)	+	+		+	+	+	+			+				
Hieu ir kt. (2020)	+	+	+		+	+						+	+	
Gille ir kt. (2022)	+	+	+	+		+			+					+
Shanka, Quintal ir Taylor (2005)			+	+	+	+								
Holdsworth ir Nind (2005)			+							+				

Šaltinis: sudaryta autorių

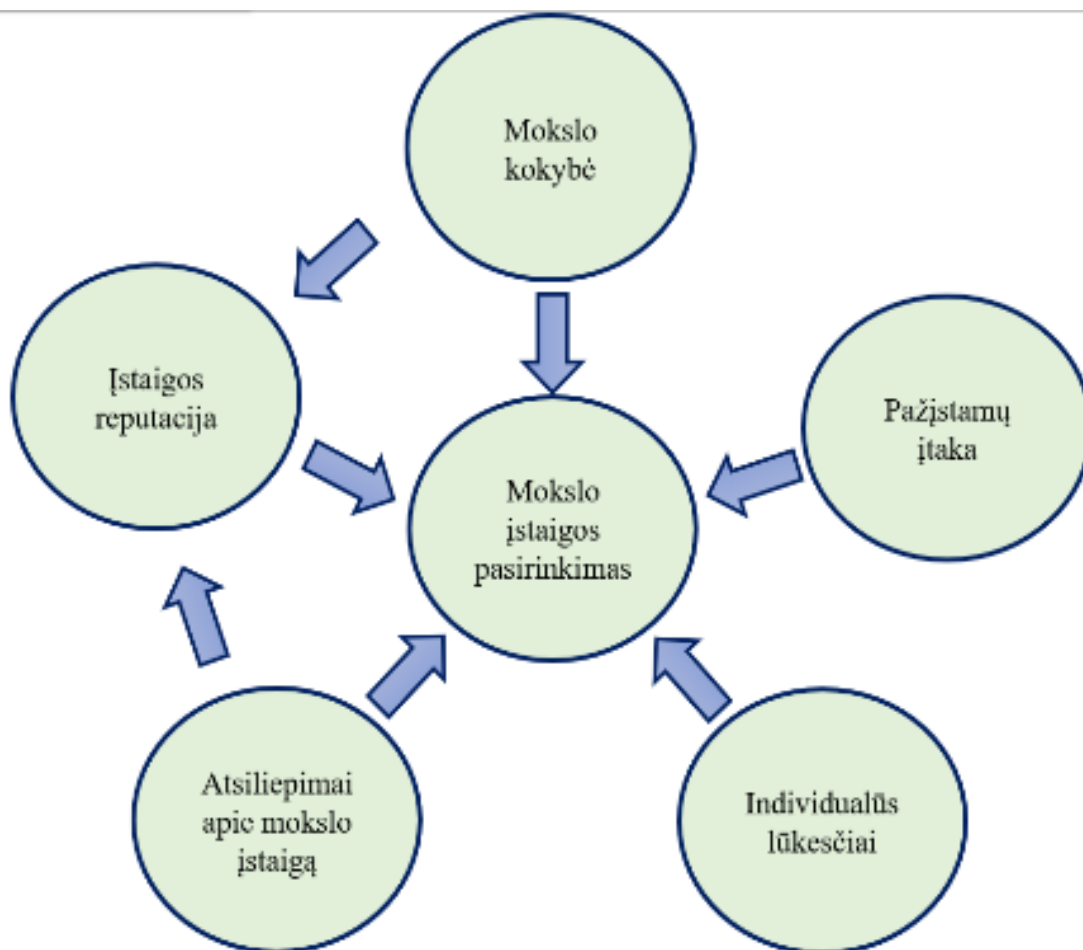
Platus modulių ir programų pasirinkimas suteikia studentams galimybių lavinti įvairius įgūdžius, įskaitant kritinį mąstymą, problemų sprendimą, bendravimą ir bendradarbiavimą bei lavina gebėjimą spręsti iššūkius, šį veiksnių paminėjo 5 autoriai (Nor ir kt., 2018; Shanka, Quintal ir Taylor, 2005; Emon ir kt., 2023).

Daugelis nagrinėtų autorių (Gille ir kt., 2022; Hieu ir kt., 2020; Emon, 2023; Gaspar ir Soares, 2021; Emon ir kt., 2023) taip pat pabrėžė įstaigos reputacijos svarbą. Mokyklos reputacija turi didelę reikšmę būsimiems studentams dėl svaraus poveikio įvairiems jų akademinio, profesinio ir asmeninio gyvenimo aspektams. Universiteto reputacija glaudžiai susijusi su įgyjamo išsilavinimo kokybe. Anot Ogbuehi ir Rogers (2008) gerą institucijos reputaciją sukurti galima paprasčiausiai pritraukiant patyrusius ir žinomus profesorius, tai sukuria sąlygas pritraukti, gerai gimnaziją baigusius abiturientus. Gaunama sinergija pagerina bendrą studentų mokymosi patirtį tiek dalykiniu tiek socialiniu aspektu bei padeda užmegzti ryšius su mokymosi įstaigos absolventais taip plečiant savo socialinį - profesinį tinklą.

Studijų kaina buvo įvardinta kaip dar vienas svarbus veiksnys rinktis vieną arba kitą mokyklą. Studijų kaina, mokesčiai ir kitos susijusios išlaidos lemia studento galimybes įgyti aukštąjį mokslą. Daugeliui asmenų ir šeimų finansiniai suvaržymai gali būti didelė kliūtis siekiant aukštojo mokslo. Mele (2014) teigimu daugelis studentų yra finansiškai priklausomi nuo tėvų, todėl per aukštą studijų kainą, paramos negavimas atgraso nuo studijavimo norėtoje aukštojoje mokykloje. Tai patvirtina ir mokslininkų tyrimai, įvardindami studijų kainą, kaip vieną iš sprendimą lemiančių kriterijų (Nor ir kt., 2018; Gille ir kt., 2022; Hieu ir kt., 2020). Dažnas studentas yra priverstas imti paskolą, kuri gali sukurti didelę finansinę naštą ir turėti įtakos absolvento poreikiui priimti svarbius gyvenimo sprendimus, pavyzdžiui, rinktis tarp būsto įsigijimo, šeimos sukūrimo ar mokslų tęsimo.

Verta paminėti ir tėvų nuomonės svarbą, kurią išskyrė 5 autoriai (Nor ir kt., 2018, Gaspar ir Soares, 2021; Emon ir kt., 2023; M. Mele (2014)). Anot minėtų tyrimų, neretai tėvai liepia vaikams studijuoti vienoje ar kitoje mokykloje, siekdami per atžalas išpildyti pačių svajones. Vedami tėvų norų, abiturientai pasirenka studijuoti rekomenduojamoje aukštojoje mokykloje.

Emon ir kt. (2023), minėdami reputaciją, įvardino ir aukštosios mokyklos reitingo, universiteto tarptautinio pripažinimo svarbą bei reklamą socialiniuose tinkluose. Gille ir kt. (2022) išskyrė konsultacijų stojant svarbą, Hieu ir kt. (2020) įstojimo galimybes bei galimybę įsidarbinti netoli universiteto; Gaspar ir Soares (2021) akcentavo socialinio gyvenimo įtaką ir t.t. Tačiau šie veiksniai dažnai nepasikartojo tarp autorių, todėl jie nebuvo įtraukti į tolimesnio tyrimo dizainą (žr. 1 paveikslą).



1 pav. Veiksniai, lemiantys aukštosios mokyklos pasirinkimą. Šaltinis: sudaryta autorių

TYRIMO DIZAINAS

Tyrimo tikslas – ištirti veiksnius, darančius įtaką studentų aukštosios mokyklos pasirinkimui Lietuvoje. Rengiant tyrimo instrumentą buvo remiamasi Gaspar ir Soares (2021) sukurtu originaliu klausimynu. Adaptuotame tyrimo instrumentą sudaro penkių demografinių klausimų blokas, keturi klausimai apie studijas ir trylika klausimų apie veiksnius, kurių svarbą renkantis studijas prašyta įvertinti septynių balų sistemoje (1 - visiškai nesutinku; 2 - nesutinku; 3 - iš dalies nesutinku; 4 - nei sutinku, nei nesutinku; 5- iš dalies sutinku; 6 - sutinku; 7 – visiškai sutinku).

Apklausa buvo platinama online būdu, pasitelkiant socialinius tinklus. Duomenų rinkimas buvo vykdytas 2023 m lapkričio 1-20 dienomis. Viso buvo surinkta 136 atsakymai. Apklausoje nebuvo galima baigti neatsakius į visus klausimus, taip norint išvengti pilnai neužpildytų anketų. Su šia problema su susidūrė Adília Gaspar ir José Soares (2021), kai iš 400 gautų atsakymų, tyrimui tinkami buvo tik 281.

TYRIMO REZULTATAI

Respondentų demografiniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

Apklausti 67 vyrai ir 70 moterys, tai padėjo gauti atsakymus atsižvelgiant į abiejų lyčių nuomonę. Apklausoje dalyvavo 22 asmenys iki 19 metų, 81 žmogus amžiuje nuo 19 metų iki 20 metų ir 33 vyresni asmenys nei 21 metų. Didžioji dalis tiriamųjų, t.y. 60% gyvena Kaune. 24% tyrimo dalyvių yra iš mažesnių miestų, o likę 16% iš didžiųjų Lietuvos miestų - Vilniaus, Klaipėdos, Šiaulių ir Panevėžio. 88% pasirinko arba planuoja pasirinkti studijas Kaune, kas rodo, kad Kauno aukštosios universitetinės ir aukštosios neuniversitetinės mokyklos atitinka ne tik kauniečių, bet ir kitų miestų būsimų studentų lūkesčius. Galima daryti išvadą, jog būsimiems studentams svarbu, kad aukštoji mokykla būtų arti namų. 52% apklaustųjų buvo tikri, kurioje studijų programoje planuoja studijuoti. Populiariausias studentų pasirinkimas (49%) - inžineriniai mokslai (mechanika, IT, statyba ir kiti). Mažesnę dalį skaičius studentų (27%) pasirinko savo ateitį sieti su socialiniais mokslais (vadyba, verslu, ekonomika, sociologija ir kitais), o likusieji kitomis studijų kryptimis. Populiariausias studentų pasirinkimas - mokslas universitete, šį pasirinkimą įvardino 61% apklaustųjų. Antrą vietą studentų pasirinkimuose užima kolegija, norą, ten studijuoti išreiškė 39% tiriamųjų.

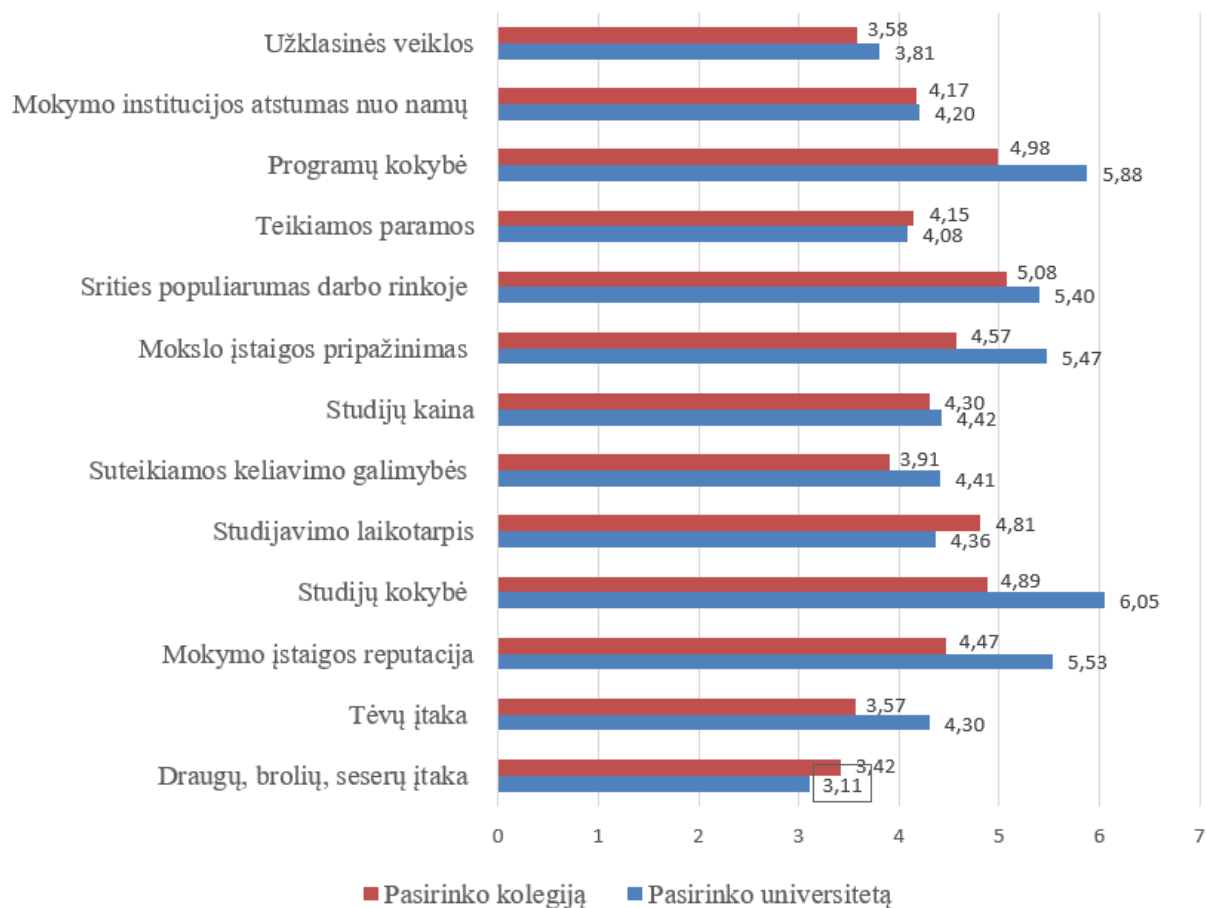
Studijų ir demografiniai respondentų duomenys

Studijų ir demografiniai duomenys		Respondentai	
		Žmonės	Procentai
Lytis	Vyrai	66	52%
	Moterys	70	48%
Amžius	iki 19	22	16%
	19-20	81	60%
	21 ir daugiau	33	24%
Gyvenamoji vieta	Vilnius	5	4%
	Kaunas	81	60%
	Klaipėda	8	6%
	Šiauliai	6	4%
	Panevėžys	3	2%
	Kiti	33	24%
Miestas kuriame studijuoja arba ketina studijuoti	Vilnius	7	5%
	Kaunas	120	88%
	Klaipėda	4	3%
	Šiauliai	2	1%
	Panevėžys	1	1%
	Kiti	2	1%
Aukštosios mokyklos statusas, kurioje studijuoja ar ketinama studijuoti	Universitetas	83	61%
	Kolegija	53	39%
Rinkosi tarp universiteto ir kolegijos	Taip	64	47%
	Ne	73	53%
Rinkotės tarp skirtingų studijų programų	Taip	65	48%
	Ne	71	52%
Studijų kryptis	Socialiniai mokslai (vadyba, verslas, ekonomika, sociologija ir kiti)	37	27%
	Inžineriniai mokslai (mechanika, IT, statyba ir kiti)	66	49%
	Kita	33	24%

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo rezultatai patvirtino prielaidą, kad Lietuvoje universitetai ir kolegijos konkuruoja dėl studentų. Beveik pusė respondentų (N=64, 47,72%) svarstė galimybę studijuoti tiek universitete, tiek kolegijoje, iš kurių 38 galutinai apsisprendė studijuoti universitete, o 26- kolegijoje. Tai, viena vertus, rodo aukštųjų mokyklų konkurenciją, tačiau, antra vertus, skatina veiksmų, darančių poveikį pasirinkimui studijuoti vienoje ar kitoje aukštojoje mokykloje, gilesnę analizę. Nors didžioji dauguma esamų ir būsimų studentų nusprendė studijuoti universitete, tačiau net 47% jų svarstė galimybę studijuoti kolegijoje. Tai rodo veiksmų, lemiančių studentų pasirinkimą, svarbą, nes didelė dalis jų nėra tvirtai apsisprendę. Šie rezultatai dar kartą patvirtina veiksmų svarbą aukštosios mokykloms konkuruojant dėl studentų.

Iš gautų rezultatų galima daryti išvadą apie veiksmų svarbos skirtumą tarp pasirinkusiųjų kolegiją ir universitetą. Universitete savo ateitį matantys studentai daug labiau pabrėžia studijų programos kokybę, mokslo įstaigos pripažinimo, studijų kokybę, mokslo įstaigos reputacijos ir tėvų įtakos svarbą. Tokį skirtumą lėmė universitetą pasirenkančių užtikrintumas šių veiksmų svarba ir jų vertinimas žymiai aukštesniais balais, tuo tarpu kolegiją besirenkantys nėra užtikrinti ar tikrai šios priežastys yra tokios svarios ir lemiančios jų sprendimą ir renkasi jas vertinti žemesniais balais, tačiau neneigia jų svarbos visiškai nesutikdami (žr. 2 paveikslą).



2 pav. Veiksnių vertinimas pagal pasirinkusius universitetą arba kolegiją

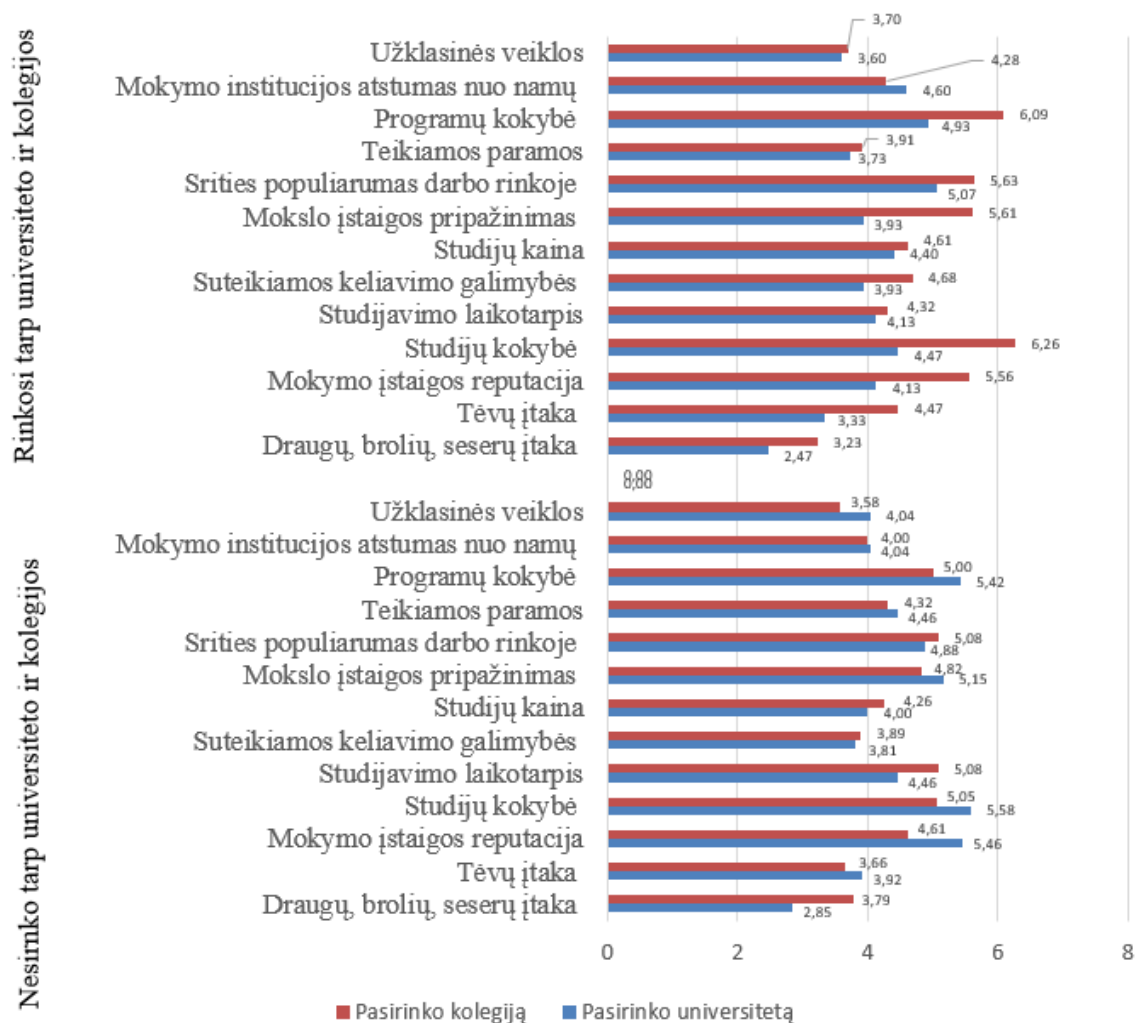
Šaltinis: sudaryta autorių

Svarbu atkreipti dėmesį į tai, kaip veiksnius vertino respondentai, kurie rinkosi tarp universiteto arba kolegijos ir tie kurie buvo tikri aukštosios mokyklos pasirinkimu. Tiriamieji, svarstę studijas tęsti kolegijoje arba universitete, bet galiausiai pasirinkę kolegiją, jų sprendimą lėmusius faktorius vertino svariau nei studentai, pasirinkę studijuoti universitete. Dvejojantys savo sprendimu respondentai labiau vertino kolegijoje teikiamų programų ir studijų kokybę, mokslo įstaigos pripažinimą bei reputaciją, socialinio rato įtaką. Šie atsakovai dėl neapsisprendimo tarp universiteto ir kolegijos turėjo nesivadovauti stereotipais, labiau įsigilinti į abiejų aukštųjų mokyklų programas, teikiamą informaciją bei į tai kaip skirtinga aukštoji mokykla išpildytų jų lūkesčius.

Daugiausia įtakos studentų pasirinkimui turėjo programų ir studijų kokybę, specialybės paklausumas darbo rinkoje ir mokslo įstaigos pripažinimas.

Studentai, rinkęsi tarp universiteto ir kolegijos, tačiau pasirinkę kolegiją, kaip pačius pagrindinius veiksnius įvardino programų kokybę (6,09), mokslo įstaigos pripažinimą (5,61), srities populiarumą darbo rinkoje (5,63), studijų kainą (4,61), suteikiamas keliavimo galimybes (4,68), studijavimo laikotarpį (4,32), studijų kokybę (6,26), įstaigos reputaciją (5,56), tėvų įtaką (4,47) ir draugų, brolių ir seserų įtaką (3,23). Tačiau rinkęsi tarp universiteto ir kolegijos, bet pasirinkę universitetą šiuos veiksnius įvertino žemesniu balu, išskyrus atstumą iki namų (4,6).

3 paveiksle pateiktas veiksnių svarbos palyginimas pagal studentus rinkusiuosius ir nesirinkusiuosius tarp universiteto ir kolegijos. Nesirinkę tarp universiteto ir kolegijos ir pasirinkę universitetą aukštesniais balais vertino šiuos veiksnius: užklausinę veiklą (4,04), programų kokybę (5,42), mokslo įstaigos pripažinimą (5,15), studijų kokybę (5,58), mokslo įstaigos reputaciją (5,46) ir tėvų įtaką (3,92). Kolegiją pasirinkę manė, kad srities populiarumas darbo rinkoje (5,08), studijų kaina (4,26), studijavimo laikotarpis (5,08) ir brolių, seserų, draugų įtaka (3,79) yra svarbesni. Tačiau abi grupės mokymo įstaigos atstumą nuo namų įvertino gan panašiai, pasirinkę kolegiją (4), universitetą (4,04).



3 pav. Veiksnių vertinimas pagal studentus rinkusiuosius ir nesirinkusiuosius tarp universiteto ir kolegijos.

Šaltinis: sudaryta autorių

IŠVADOS

Mokslinės literatūros analizė suponavo prielaidą, kad takoskyra tarp universitetų ir kolegijų, žvelgiant iš studijų perspektyvos, nėra ženkliai. Aukšti reikalavimai mokslinių tyrimų lygiui ir jų integracijai į studijų procesą, leido daryti prielaidą, kad Lietuvoje skirtumai tarp studijų universitete ar kolegijoje įgalina šias skirtingų tipų švietimo įstaigas laikyti konkurentėmis.

Atlikus 136 respondentų apklausą, iš kurių 83 respondentai studijuoja arba ketina studijuoti universitete ir 53 respondentai studijuoja arba ketina studijuoti kolegijoje, galima teigti, kad ši prielaida pasitvirtino. Beveik pusė respondentų svarstė galimybę studijuoti tiek universitete, tiek kolegijoje. Toks vertinimas ir kolegijos pasirinkimas rodo, kad šie individai nesivadovaudami nusistovėjusiais stereotipais daugiau pasidomėjo tiek universiteto, tiek kolegijos siūlomomis galimybėmis ir nusprendė, kad kolegija labiau atitinka jų standartus.

Palyginus tyrimą Lietuvoje ir kitus tyrimus (Gaspar ir Soares, 2021; Gille ir kt., 2022; Emon ir kt., 2023), galima daryti išvadą, kad studijų kokybė ir aukštosios mokyklos reputacija yra vienas svarbiausių veiksnių, renkantis aukštojo mokslo įstaigą.

Beveik pusė studentų (47.1%) yra neapsisprendę dėl savo aukštosios mokyklos pasirinkimo, todėl norėdamos pritraukti šiuos abiturientus aukštosios mokyklos turėtų daugiau dėmesio skirti reklamai ir abiturientų pritrakimui. Stengtis parodykite fakulteto pasiekimus, indėlį į mokslinius tyrimus ir sėkmingus absolventus. Diegti modernias ir patrauklias mokymo metodikas. Pasitelkti technologijas interaktyviems ir dinamiškiems mokymosi potyriams, nes šie faktoriai kelia mokslo įstaigos reputaciją, patrauklumą, bei kuria stiprų aukštosios mokyklos prekės ženklą.

LITERATŪRA

1. Arambewela, R., Hall, J., Zuhair, S. (2006). Postgraduate International Students from Asia: Factors Influencing Satisfaction. *Journal of Marketing For Higher Education* 15, 105-127.
2. Afful-Broni, A., Noi-Okwei, C. (2010). Factors Influencing The Choice Of Tertiary Education In A Subsaharan African University. *Academic Leadership Journal*. 8(20).
3. Briggs, S. (2006). An exploratory study of the factors influencing undergraduate student choice: the case of higher education in Scotland. *Studies in Higher Education*, 31(6), 705-722.
4. Emon, M. M. H., Abtahi, A. T., Jhuma, S. A. (2023). Factors influencing college student's choice of a university in bangladesh. *Social Values and Society (SVS)* 5(1), 1-3.
5. Gaspar, A., Soares, J. (2021). Factors Influencing the Choice of Higher Education Institutions in Angola. *International Journal of Educational Administration and Policy Studies* 13(1) 23-39
6. Gan, C., Rahiza, R., Senathirajah, A., Zahir, O., Parameswaran, S. (2022). Factors Influencing Students' Choice Of An Institution Of Higher Education. *Journal of Positive School Psychology*. 6(4), 10015 – 10043.
7. Gille, M., Moulignier, R., Kövesi, K. (2022) Understanding the factors influencing students' choice of engineering school, *European Journal of Engineering*
8. Hieu, V. M., Xuyen, N. T. M., Hung, D. D. P. (2020). Factors influencing to the university choice of high-schools pupils - an empirical study of lam dong province, vietnam. *Journal of Critical Reviews*. 7(8), 1656- 1665.
9. Matulcikova, M., Hamranova, A., Hrivikova, T. (2021). Education as the basis for the career development. *SHS Web of Conferences* 115, 03010.
10. Nor, A. (2018). Factors Contributing to the Students' Choice of University: A Case Study of Somali National University. 4. 49-55, 3(1).
11. Parivash, J., Abdollah, A. (2013). Factors Influencing the Selection of a University by High School Students. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. ISSN 2090-4304
12. Raposo M., Alves, H. (2007). A model of university choice: an exploratory approach. *MPRA Paper No. 5523*.
13. Rika, N., Roze, J., Sennikova, I. (2016). Factors affecting the choice of higher education institutions by prospective students in Latvia. *CBU international conference on innovations in science and education*. 4.
14. Shanka T., Taylor. R. (2006). Factors Influencing International Students' Choice of an Education Destination-A Correspondence Analysis. *Journal of Marketing for higher education*. DOI: 10.1300/J050v15n02_02, 31-46.
15. Stöver, B.; Sibbertsen, Ph. (2020). The similarities in efficiency of universities and universities of applied sciences in Lower Saxony, *Hannover Economic Papers (HEP)*, No. 673, Leibniz Universität Hannover, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Hannover.

FACTORS DETERMINING THE CHOICE OF STUDENTS TO STUDY AT A UNIVERSITY OR HIGHER NON-UNIVERSITY SCHOOL

Summary

The article investigates the factors that determine students' decision to study at a higher university or a higher non-university school. Based on the analysis of the survey, the impact of personal aspirations, family expectations, economic reasons and societal attitudes on students' choice of a higher education institution was determined.

Key words: study choice, university, university of applied science, studies, higher school.

PERSONALIZUOTO MOKYMO/SI APLINKOS KŪRIMAS KAIP LIBERALAUS UGDYMO BRUOŽŲ RAIŠKA: TEORINĖS IŽVALGOS

Giedrė Adomavičienė, Judita Štreimikienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnio tikslas – teoriniame lygmenyje atskleisti personalizuoto mokymo/si aplinką kaip liberalaus ugdymo prielaidą. Naudojantis įvairių autorių teoriniais teiginiais ir atliktais bei apibendrintais tyrimais, atskleidžiama personalizuoto mokymo/si samprata, pateikiamas personalizuotos mokymo/si aplinkos teorinis modelis.

Reikšminiai žodžiai: liberalus ugdymas, personalizuotas mokymas/si, mokymo/si aplinka, personalizuoto mokymo/si aplinka.

Įvadas

Jau nuo seno ugdymo mokslas, jo sąveika su filosofija nestokoja tyrinėtojų dėmesio. Dauguma ugdymo teorijų yra grindžiamos filosofinėmis pažiūromis, t.y. ugdymo filosofija. Radikaliausiai ugdymo teorijos ir filosofijos ryšį apibrėžė Johan Dewey. Anot jo, ugdymo teorija yra su ugdymu susijusių apibendrinimų ir abstrakcijų visuma (Williams, 2017).

Iki Nepriklausomybės atkūrimo Lietuvoje sovietinės pedagogikos bei valstybinės ideologijos veikiamas ugdymo procesas buvo autoritarinio pobūdžio, besiremiančio nuostata, jog ugdytinis privalo priimti tą patirtį, kurią pateikia ugdytojas ir kuo reikšmingesnis yra ugdytojo statusas, tuo intensyvesnė prievarta (Bitinas, 2013). Taigi, ugdymo proceso konstravimas ir realizavimas šiuo atveju ženkliai veikiamas filosofinės koncepcijos. Kaip žinia, ugdymo reiškinių kaita vyksta ne tik lokaliame, bet ir pasauliniame kontekste. Lietuvai perimant gerąją pažangių užsienio šalių praktiką, svarbu užtikrinti kokybišką mokymo/si proceso organizavimą visuose švietimo sistemos lygmenyse. Šalims, siekiančioms žinių ir informacijos kokybės, būtina orientuotis į pasaulio ir europinių dimensijų metodologines nuostatas, todėl Lietuvoje ir kitose šalyse ieškoma inovatyviausios patirties švietime, nes kokybiškas jaunimo parengimas lemia šalies sėkmę ir konkurencingumą, o sėkmingas ugdymas augina asmenybę (Jucevičienė, 1997).

Ši teiginį galima sukonkretinti priešpastatant autoritarinei pedagogikai priešingą – liberalaus ugdymo koncepciją, kurios realizavimas sąlygoja laisvą asmens, kaip individualybės, vystymąsi, individo prioritetinę poziciją visuomenėje. Šia prasme yra svarbūs tokie edukaciniai veiksniai kaip diferencijavimas ir individualizavimas, kurie, veikiami makrosistemos, gali būti tiriami tiek instituciniame, tiek mikrosistemos – konkretaus pedagoginio proceso – lygmenyje bei atitinkamoje mokymo/si aplinkoje. Tokia ugdymo samprata pagrindžia mintį, kad visi žmonės turi turėti vienodą priėjimą prie aukštojo mokslo ir mokymo/si. Svarbu sudaryti galimybę skirtingo amžiaus žmonėms tobulėti ir pasiūlyti ugdymo programas, atitinkančias besimokančiojo poreikį. Kiekvieno besimokančiojo potencialas turi būti maksimizuojamas, todėl mokymo/si procesas turi pasižymėti personalizavimu, apimančiu individualizavimą ir diferencijavimą.

Personalizuotą edukaciją galima vertinti kaip savotišką edukacinį reiškinį, kai ugdomasis poveikis įvairiuose lygiuose organizuojamas taip, kad į pirmą vietą iškeliamas žmogaus individualybė – individualūs jo poreikiai, interesai, sugebėjimai, patirtis, motyvacija.

Personalizuotas mokymas/si gali vykti tiek tradiciniame mokymo/si kontekste (pvz., aukštojoje mokykloje), tiek ir bet kuriame kitame kontekste (pvz., bendruomenėje, besimokančiųjų grupėje kartu atliekant užduotis ir pan.).

Taigi išryškėja mokslinė problema, ar personalizuoto mokymo/si aplinkos kūrimas parodo liberalaus ugdymo bruožų raišką šiuolaikiniame mokymo/si procese.

Tyrimo tikslas – teoriniame lygmenyje atskleisti personalizuoto mokymo/si aplinką kaip liberalaus ugdymo prielaidą.

Straipsnį sudaro dvi dalys. Pirmoje dalyje atskleidžiama liberalaus ugdymo bruožų raiška personalizuoto mokymo/si procese. Antroje dalyje analizuojama personalizuoto mokymo/si aplinka, pristatomas tokios mokymo/si aplinkos teorinis modelis, jo charakteristikos bei teorinis tyrimo konstruktas individo lygmenyje.

Liberalaus ugdymo bruožai ir jų raiška personalizuoto mokymo/si procese

Liberaliu ugdymu siekiama išlaisvinti besimokantįjį taip, kad jis turėtų intelektualinę ir moralinę autonomiją, galimybę tapti laisvu, renkantis kuo tikėti ir ką daryti. Taigi liberalaus ugdymo tikslas – tai individualybės, laisvo žmogaus ugdymas bei saviugda. Tik galėdamas laisvai rinktis savo tikslus, elgesį ir savarankiškai apsispręsti, jis atranda prasmingiausias gyvenimo vertybes (Straume, 2016). Todėl būtina

ieškoti, pagrįsti ir realizuoti Lietuvos švietime tokį mokymą/si, kurio didaktinių nuostatų hierarchijos viršūnėje būtų pagarbos, pakantumo ir bendravimo, pagalbos vertybės, kurių dėka ne tik pripažįstamas kiekvieno besimokančiojo unikalumas bei vertingumas, bet ir sudaromos teisės, sąlygos, galimybės įtakoti mokymo/si tikslus, rinktis mokymo/si ar studijų turinį, jo lygį, mokymo/si formas bei metodus, atitinkamas mokymo įstaigas bei pedagogus, išmokti tolerantiškai reaguoti į kitų pasirinkimą ir jausti atsakomybę už savąją.

Personalizuoto mokymo/si sistema, remdamasi žmogaus pažinimu, suvienijo filosofų, psichologų, pedagogų teiginius bei pasiūlymus taip, kad mokymo/si turinys ir technologija tampa suderinti su žmogaus individualybe. Ugdymo tikslai tokioje mokymo/si sistemoje suteikia besimokančiajam apsisprendimo teisę, laisvę. Pedagogas, dirbdamas pagal individualų požiūrį ir remdamasis profesine savo kompetencija bei kūrybiniais sumanymais, formuoja konkrečius didaktinius uždavinius, papildo tikslų turinį, atsiliepia į liberalaus ugdymo tikslus ir leidžia susiformuoti tikslingai, orientuotai į rinkimąsi, intensyviai mokymo/si motyvacijai, kai kiekvienas besimokantysis veikloje orientuojasi bei renkasi pagal savo individualias savybes ir gali elgtis pagal subjektyvias vertybes.

Personalizuojant mokymo/si turinį, kiekvienas besimokantysis renka jo lygį arba kvalifikacinį laipsnį atitinkantį mokymo/si turinį ir/ar mokosi pagal individualią programą. Visos programos turėtų numatyti privalomą žinių minimumą, o gabiesiems, plačiau besidomintiems – išplėstą, pagilintą žinių apimtį. Mokymo/si procesas organizuojamas per personalizuoto, nevienodo lygio ir apimties savarankiško darbo užduotis, kai kiekvienas besimokantysis gali pasirinkti užduotį, jos atlikimo eigą pagal savo individualias galimybes. Personalizuoto atsiskaitymo bei kontrolės laikas ir formos bei teisė jas pasirinkti leidžia mokytis individualiu darbo stiliumi, taigi akcentuojamas lankstus turinys, priemonės, mokymo/si aplinka.

Šios mintys atitinka liberalaus ugdymo pagrindinius bruožus ir tikslus, iš kurių vienas yra sustiprinti pasirinkimo galimybės pojūtį, pasiekti intelektualinės autonomijos, tapti laisvu, renkantis kuo tikėti ir ką daryti (Straume, 2016).

Personalizuoto mokymo/si organizavimas prasideda besimokančiųjų pažinimu, jų grupavimu(-usi) pagal atitinkamus individualius požymius; jis leidžia realizuoti individualų priėjimą, parenkant mokymo/si būdus bei formas. Kreipiamas dėmesys į besimokančiojo refleksiją ir savarankiškumą, akcentuojama besimokančiojo patirčių plėtra ir žymiai aukštesni lūkesčiai. Mokymo/si personalizavimas, pasak Tetzlaff, Schmiedek, Brod (2021), apima keletą esminių efektyvaus mokymo/si aspektų: pasidalyta besimokančio asmens ir mokytojo (pedagogo, andragogo ar dėstytojo) atsakomybė už mokymąsi; besimokančio asmens pažinimas; jo įtraukimas, susiejant asmens mokymą/si su jo patirtimi ir siekais, užtikrinant jo motyvaciją įgyti naujų žinių ir įgūdžių; bendradarbiavimo kultūra grindžiamas mokymas/is, užtikrinantis besimokančio asmens dalyvavimą ir įsitraukimą į mokymo/si procesą; efektyvus informacinių technologijų panaudojimas, užtikrinantis personalizuoto mokymo/si infrastruktūrą ir tinkamus mokymo/si išteklius. Personalizuoto mokymo/si nuostatos įgyvendinimas iš švietimo, ugdymo, mokslo institucijų reikalauja žymiai didesnio lankstumo. Pedagogai, andragogai ar dėstytojai turi ieškoti inovatyvių metodų ir tinkamų instrumentų tam, kad kuo geriau tenkintų platų ir nuolat kintantį besimokančiųjų poreikių, mokymo/si strategijų, mokymo/si būdų, stilių spektrą ir kurtų dinamiškas mokymo/si patirtis. Remiantis socialinio konstravimo nuostata, dialogas tampa esminiu personalizuoto mokymo/si elementu (Bitinas, 2013). Personalizuotas mokymas/is gali vykti tiek tradiciniame mokymo/si kontekste (pvz., aukštojoje mokykloje), tiek ir bet kuriame kitame kontekste (pvz., bendruomenėje, besimokančiųjų grupėje kartu atliekant užduotis ir pan.). Mokymasis neapibrėžtoje vietoje neapibrėžtu laiku ypač svarbus šiuo globalizacijos metu ir siejamas su tolesne ir nesibaigiančia mokymo/si patirtimi. Žmonės mokosi skirtingai, o mokymas/is yra sudėtingas, susijęs su daugybe veiksmų, „netvarkingas“ procesas – t. y. nevyksta tiesiogiai, todėl besimokantieji turi turėti galimybių suprasti savo mokymo/si būdus, stilius ir konstruoti savo žinias bei mokymo/si turinį, bendradarbiaudami su kitais besimokančiais (Reber, Canning, Harackiewicz, 2018).

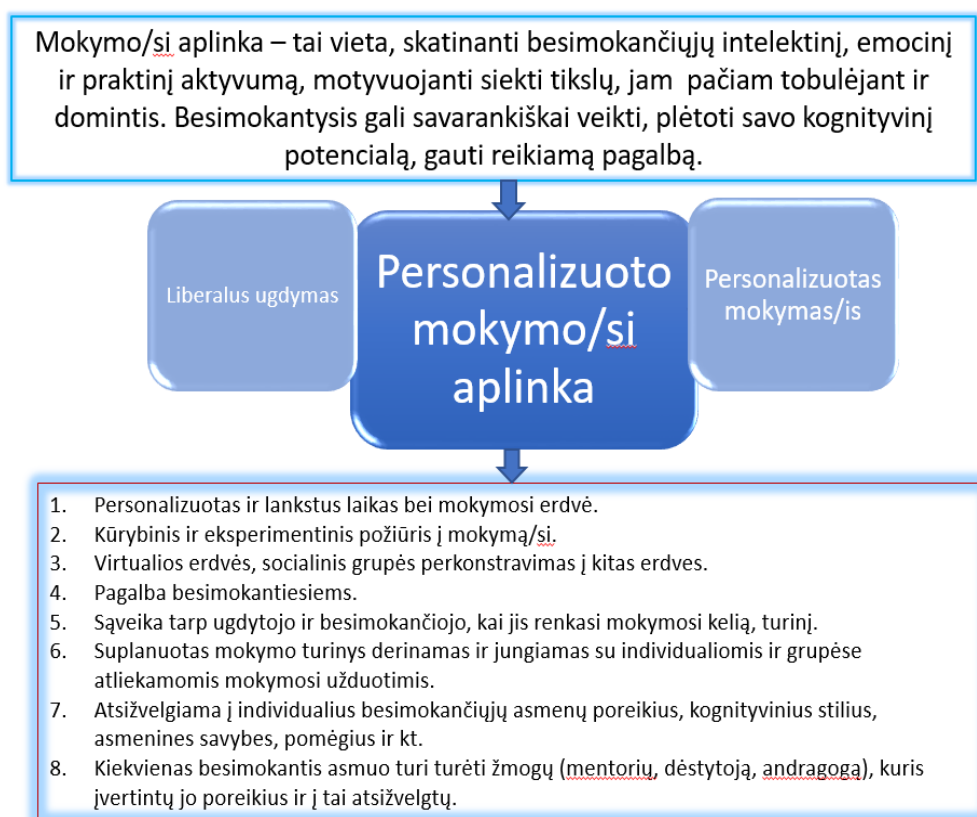
Išanalizavus liberalaus ugdymo bruožus galima teigti, kad personalizuoto mokymo/si aplinkos teoriniai teiginiai yra artimi demokratiniams procesams, todėl galima daryti prielaidą, kad personalizuotas mokymas/is yra liberalaus ugdymo prielaida.

Personalizuoto mokymo/si aplinka ir jos charakteristikos

Švietimo sistemoje personalizuotas mokymas/is yra palyginti naujas konceptas. Daugelio šalių aukštojo mokslo, ugdymo bei suaugusiųjų švietimo institucijos vis dar laikosi tradicinio švietimo modelio, todėl pereiti prie personalizuoto mokymo/si reikštų iš esmės pakeisti švietimo institucijų kultūrą ir perskirstyti resursus. Personalizuotas mokymas/is yra į besimokantį asmenį ir jo interesus orientuotas mokymas/is, grindžiamas parama besimokančiajam individualizuoti savo mokymo/si patirtis, atsižvelgiant į specifinius poreikius, interesus, siekius, mokymo/si būdus, kultūrinį kontekstą. Personalizuotas mokymas/is

glaudžiai siejamas su inkliuziniu, individualizuotu, diferencijuotu mokymu/si (Tetzlaff, Schmiedek, Brod, 2021). Nors personalizuoto mokymo/si koncepcija glaudžiai susijusi su inkliuzinio, individualizuoto, diferencijuoto mokymo/si nuostatomis, pastarosios labiau orientuotos į mokytoją, o ne į besimokantį asmenį. Personalizuoto mokymo/si požiūriu svarbus besimokančiojo aktyvus vaidmuo, pasirinkimas ir prioritetai, ką, kaip, kokiais būdais ir kur mokytis ir kaip visa tai panaudoti sparčiai besikeičiančioje aplinkoje (Maghsudi, Lan, Jie Xu, Van der Schaar, 2021).

H. Dumont'as, D. Istance, F. Benavides'as (2020), analizuodami įvairius mokymo/si aplinkos kūrimo ypatumus, pabrėžia, kad ši sąvoka apima tiek fizinius (taikomi mokymo/si metodai, mokymo/si turinys, mokymui/si naudojamos erdvės, informacinės kompiuterinės ir kompensacinės priemonės ir kt.), tiek socialinius (besimokančiojo nuotaika, andragogo vaidmuo ir elgsena, besimokančiųjų grupės nuotaika, besimokančiųjų tarpusavio santykių kultūra, mokymo/si motyvacija, visų mokymo/si dalyvių – andragogų, besimokančiųjų, administracijos – bendravimas ir bendradarbiavimas, pagarba individualumui ir kt.) aspektus. Mokymo/si tikslai, besimokančiųjų ir andragogų vaidmenų pasiskirstymas bei tarpusavio santykiai personalizuoto mokymo/si kontekste ypač svarbūs. Besimokančiojo asmenybės kaitai aktuali mokymo/si aplinka bus naudinga, leidus jam savarankiškai veikti, išnaudojus ir vystant jo kognityvinį potencialą, suteikiant pagalbą, motyvuojant siekti tikslų, jam pačiam tobulėjant ir domintis, t.y. bus išnaudojama visa mokymo/si aplinka, skatinant besimokančiųjų intelektualinį, emocinį ir praktinį aktyvumą.



1 pav. Personalizuotos mokymo/si aplinkos teorinis modelis

Apibendrinant galima teigti, kad personalizuota mokymo/si aplinka – tai vieta, kur besimokantieji, naudodamiesi įvairiomis mokymo/si priemonėmis ir šaltiniais, siekdami mokymo/si tikslų ir problemų sprendimo, gali dirbti kartu arba individualiai bei tobulėti skirtinguose kontekstuose. Ši aplinka pasižymi tokiais charakteristikomis: personalizuotas ir lankstus laikas bei mokymo/si erdvė; kūrybinis ir eksperimentinis požiūris į mokymą/si; virtualios erdvės, socialinis grupės perkonstravimas į kitas erdves; pagalba besimokantiejiems; sąveika tarp ugdytojo ir besimokančiojo, kai jis renka mokymo/si kelią, turinį; suplanuotas mokymo/si turinys derinamas ir jungiamas su individualiomis ir grupėse atliekamomis mokymo/si užduotimis; atsižvelgiama į individualius besimokančiųjų poreikius, kognityvinius stilius, asmenines savybes, pomėgius ir kt., kiekvienas besimokantis turi žmogų (mentorių, dėstytoją, andragogą), kuris įvertintų jo poreikius ir jį tai atsižvelgia.

Edukaciniai veiksniai kaip personalizuota edukacija gali būti tiriami tiek švietimo, tiek instituciniame, tiek grupiniame bei asmens lygmenyje. Tiriant personalizuoto mokymo/si prielaidas instituciniame

lygmenyje akcentuojamas personalizuotos švietimo sistemos realizavimas per besimokančiojo pasirinkimo galimybių sudarymą švietimo sistemos lygmeniu. Tai yra personalizuoto mokymo/si tikslai, sąlygojami švietimo politikos, numatomos pagrindinės vertybės, prioritetai, veiklos strategija. Institucinis lygmuo sudaro prielaidas studijų programų, jų turinio personalizavimo raiškai. Tai konkretūs personalizuoto mokymo/si tikslai, sąlygojami organizacinių, pedagoginių veiksmų, kurie nulemia tolimesnę veiksmų programą. Grupės lygmuo gali būti analizuojamas personalizuoto mokymo/si tikslų, kurie tiesiogiai siejasi su pedagogo/dėstytojo/andragogo darbu, kontekste. Šio lygmens rezultatas - studijų programos realizavimas kaip vidinio personalizavimo realizavimo veiksnys. Asmens lygmuo gali būti vertinamas kaip besimokančiojo personalizuoto mokymo/si aplinka. Edukaciniai veiksniai kaip personalizuota edukacija gali būti tiriami tiek švietimo, tiek instituciniame, tiek mikrosistemos – konkretaus pedagoginio proceso – lygmenyje bei atitinkamoje individo mokymo/si aplinkoje.

Šiame straipsnyje pristatomas personalizuoto mokymo/si aplinkos teorinis tyrimo konstruktas individo lygmenyje. Vertinant personalizuotos mokymo/si aplinkos kūrimo prielaidas, tyrimo instrumentas parengtas pagal teorinėje dalyje suformuluotą personalizuoto mokymo/si aplinkos modelį ir jo charakteristikas: vertinama studijų formų įvairovė; galimybės pasirinkti studijų formas ir grafikus; studijų turinio realizavimas ir didaktiniai studijų turinio realizavimo aspektai (studijų turinio, rezultatų ir metodų, formų dermė); studijų aplinkos ir studijų rezultatų dermė, studijų metu teikiamos pagalbos įvairovė; pedagogo/mentorius/adragogo sąveika su besimokančiuoju; informacijos apie studijų turinį, veiklas, šaltiniai; studijų procese taikomi metodai ir formos; galimybės rinktis užduotis, veiklas, įvairovė; galimybė realizuoti savo hobius, pomėgius; studijų turinio ir asmeninio tobulėjimo galimybės; komunikacija apie studijų organizavimą; mentorystės ir kitos pagalbos besimokančiajam programos.

Išvados

1. Liberalaus ugdymo raiška pastebima personalizuoto mokymo/si procese, nes personalizuoto mokymo/si idėja akcentuoja besimokančiųjų pažinimą, jų grupavimą/si pagal atitinkamus individualius požymius. Toks mokymas/is leidžia realizuoti individualų priėjimą, parenkant mokymo/si būdus bei formas, suteikiant besimokančiajam laisvę ir teisę pasirinkti.

2. Personalizuoto mokymo/si aplinka - tai vieta, kur besimokantieji, naudodamiesi įvairiomis mokymo/si priemonėmis ir šaltiniais, siekdami mokymo/si tikslų ir problemų sprendimo, gali dirbti kartu arba individualiai bei tobulėti skirtinguose kontekstuose. Ši aplinka pasižymi tokiomis charakteristikomis: personalizuotas ir lankstus laikas bei mokymo/si erdvė; kūrybinis ir eksperimentinis požiūris į mokymą/si; virtualios erdvės, socialinis grupės perkonstravimas į kitas erdves; pagalba besimokantiejiems; sąveika tarp ugdytojo ir besimokančiojo, kai jis renka mokymo/si kelią, turinį; suplanuotas mokymo turinys derinamas ir jungiamas su individualiomis ir grupėse atliekamomis mokymo/si užduotimis; atsižvelgiama į individualius besimokančiųjų asmenų poreikius, kognityvinius stilius, asmenines savybes, pomėgius ir kt., kiekvienas besimokantis turi žmogų (mentorių, dėstytoją, andragogą), kuris įvertintų jo poreikius ir į tai atsižvelgia.

Literatūra

1. Bitinas B. (2013). Rinktiniai edukologiniai raštai. I tomas Ugdymo filosofija. Ugdymo idėjos ir problemos. Vilnius.
2. Jucevičienė P. (1997). Ugdymo mokslo raida: nuo pedagogikos iki šiuolaikinės edukologijos. Kaunas, Technologija.
3. Maghsudi S., Lan A., Jie Xu J., Van der Schaar M. (2021). Personalized Education in the Artificial Intelligence Era: What to Expect Next. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9418572>
4. Reber R., Canning E.A., Harackiewicz J. M. (2018). Personalized Education to Increase. Interest. Prieiga per internetą: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0963721418793140>
5. Straume I. S. (2016). Democracy, Education and the Need for Politics Studies in Philosophy and Education volume 35.
6. Tetzlaff L., Schmiedek F., Brod G. (2021). Developing Personalized Education: A Dynamic Framework. Educational Psychology Review.
7. Williams M. K. (2017). John Dewey in the 21st Century Journal of Inquiry & Action in Education, 9(1), University of West Florida.

CREATING PERSONALIZED TEACHING / LEARNING ENVIRONMENT AS EXPRESSION OF LIBERAL EDUCATION CHARACTERISTICS: THEORETICAL INSIGHTS

Summary

The aim of the article is to reveal the environment of personalized teaching / learning at the theoretical level as a precondition for liberal education. Using the theoretical statements of various authors and performed and summarized

research, the concept of personalized teaching / learning is revealed, and a theoretical model of a personalized teaching / learning environment is presented.

Having analysed the theoretical insights, it is possible to conclude that the characteristics of liberal education can be clearly observed in the process of personalized teaching / learning, because the idea of personalized teaching / learning emphasizes the knowledge of learners, their grouping according to the relevant individual characteristics. This type of teaching / learning allows the realization of an individual approach, choosing the methods and forms of learning, giving the learner freedom and the right to choose. A personalized teaching / learning environment is a place where learners, using various teaching / learning tools and resources, can work together or individually to solve learning goals and problems and develop in different contexts. This environment has the following characteristics: personalized and flexible time and teaching / learning space; creative and experimental approach to teaching / learning; virtual spaces, social reconstruction of the group into other spaces; support for learners; the interaction between the educator and the learner when he/she chooses the teaching / learning path, the content; the planned teaching / learning content is combined and connected with individual and group teaching / learning tasks; the individual needs of learners, cognitive styles, personal characteristics, interests, etc. are taken into account; each learner has a person (mentor, teacher, andragogue) who assesses his/her needs and takes them into account.

Key words: liberal education, personalized education, educational environment, personalized educational environment.

APPLICATION OF PINK TAX: CASES IN LITHUANIA AND THE NETHERLANDS

Lina Girdauskienė, Rugilė Girdauskaitė
Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Summary

Although pink tax is an unofficial charge fixed to a variety of goods, such as hygiene products, cosmetics, clothing or toys, its gender-oriented discrimination could have a meaningful impact on the daily life of women and men. Therefore, this research aimed to determine application of pink tax in Lithuania and the Netherlands, and to evaluate inequality in the pricing of masculine and feminine products. Qualitative data was retrieved by collecting and comparing prices of various gender specific hygiene and beauty products found in grocery and drug stores. The results show that both countries have applied the pink tax; however, this problem is more apparent in Lithuania.

KEYWORDS: Pink tax, Gender Discrimination, Lithuania, the Netherlands.

Introduction

Considering other well-researched and discussed socio-economic problems that were created as a result of gender inequality, the pink tax is a relatively recent topic. Despite many people being aware of this concept, some still deny its existence; therefore, overshadowing it with their nescience. Such a behavior has led to lack of interest to study and analyze the application, issues and consequences that the pink tax has created. Thus, this article aims to stress the relevance of the problem of imposing discriminatory prices on gender-based products and address the existence of pink tax in high-income countries - Lithuania and the Netherlands.

The purpose of this paper is to determine and evaluate the application of the pink tax in Lithuania and the Netherlands.

The purpose of the research will be reached by using a method of collection of qualitative data. This will be done by documentation of prices of gender-based products in Lithuanian and Dutch stores.

After collection of evidence, which will be displayed in the appendix section, the data will be processed and results will be discussed separately and thereafter jointly. Lastly, definitions, history and effect of pink tax will be reviewed in the theoretical background.

Theoretical background

Pink tax - an increase in price for goods and services marketed towards women. It is an official premium placed on products, such as skincare and toys, or services, like haircuts and drycleaning, designed for women.⁷ The majority of products that have such an additional charge are colored pink; therefore, this tax is commonly termed as the pink tax.

Pink tax is not a mandatory charge that female consumers have to pay. They have a choice to buy products of lesser prices that are targeted towards men. Nevertheless, due to the social construct created by media and communication, women and men feel pressured to fit, look and behave as their gender. This concept is known as gender socialization.³ As a result of high standards, many females and males choose to buy products targeted to their assigned gender identities. "These gender identities, even though far from accurate, are now the indicators of actions taken by businesses and their used strategies."⁸ Therefore, gender specific items are purchased by their targeted audience, even if those products do not benefit one specific gender exclusively.

This additional charge is a global experience and a well-developed concept, first recognized in the United States of America because of gender studies conducted by California Assembly Office of Research in 1994, which established that for the same products women could pay more than a thousand dollars more than their male counterparts.³ Such results encouraged Rep. Jackie Speier to introduce a Gender Tax Repeal Act bill, later on termed as the Pink Tax Repeal Act (which has not been passed yet). Since then, multiple studies have been organized worldwide; however, the results of mentioned studies were considered insignificant or were ignored overall. Ignorance and lack of interest in gender marketing is one of the reasons why it is difficult to deduce reasons for such a discrimination. Moreover, "there is a dearth of systematic evidence on the prevalence and causes of the pink tax to guide legislative action"² Therefore, even if the presence and reasons for the pink tax are known, it is difficult to find solutions to decrease the tax.

While women, due to their longer life expectancy, experience of a pay gap, unpaid labor at home and other additional taxes, such as the tampon tax, are affected negatively by the discriminatory prices, the nation's market, on the other hand, further soars and benefits from its female customers. A California Assembly Office of Research study about gender discrimination shows that women had to pay around 1,300 dollars more per year in 1994 due to gender-based pricing⁴. This means that over a lifetime the national

economy could gain around a hundred thousand dollars just from one woman. For this reason, a number of countries deny the existence of such a hidden tax, thus promoting it, as they gain financial profit.

Gender Equality Index (GEI) - a tool to measure the progress of gender equality in the EU, developed by European Institute for Gender Equality (EIGE). It gives more visibility to areas that need improvement and ultimately supports policy makers to design more effective gender equality measures.⁵ The index evaluates progress from numbers 1 to 100, the former showing the most amount of inequality and the latter presenting the greatest amount of equality.

Even though there is a small amount of arguments which could justify the application of pink tax in Lithuania and the Netherlands, GEI can be used as a tool to reason and explain why there is a greater number of gender-based pricing in Lithuania. 2023 results shows that Lithuania has scored 64.1 points for gender equality, which is slightly lower than the European average (70.2). On the other hand, the Netherlands has accounted for 77.9 points, being the 2nd highest on the scale. Furthermore, when comparing just domains of economic power, the Netherlands (72) has over 34 points more than Lithuania (37.8). Therefore, disparities between GEI scores do support the respective results of the pink tax, showing that Lithuania lacks equality in many other areas too, such as work, knowledge and time.

Method of research

The set aim was achieved through a research of differences in prices found in commonly spread super markets, grocery and drug stores, such as “Maxima” in Lithuania and “Albert Heijn” in the Netherlands. Such stores were chosen for investigation, because they hold the greatest number of gender specific products, which are hard to find elsewhere. In addition, since these markets are vastly distributed throughout and are easily accessible in these states, chances that people will face the pink tax are more likely.

Products were selected from two categories - hygiene and beauty - since such items are the most gender-oriented, as well as most likely to have price disparities: “Investigative journalists and government agencies report that the price differences in CGP (consumer packaged goods) occur most frequently for personal care products, such as deodorant and razors.”¹ Taking into consideration that many products designated for hygiene, such as bars of soap or hand sanitizers, could be gender neutral, only items that were labeled for “men” or “women” were chosen. Such products were shower gels, antiperspirants and razors for hygiene group, and face creams and eau de toilette for beauty. In addition, it was taken into consideration that only products, which served only one purpose, were analyzed. For that reason, shampoos and conditioners were not examined, as many masculine products are multipurpose (2 in 1). Investigation of such items would hinder the results, because women would have to pay twice more to receive the same product.⁶ Due to a limited amount of gendered goods, there are less products in the latter category; nevertheless, this limitation should not hinder the outcome of the results.

In order to be accurate, prices of merchandise were recorded per one liter or one singular item. To gain precise and realistic results, prices were retrieved by calculating the mean of 3 different kinds of the same product.

The difference in prices between feminine and masculine products were calculated using a percentage formula and was later compared to find pink tax. Tables 3-6 of raw results of the investigation is presented in the appendix section.

Results of hygiene and beauty products in Lithuania

Table 1 shows that all of the researched categories of feminine hygiene and beauty products have higher prices than the masculine ones. The percentage inequality differs from a minimum of 8.22% to a maximum of 31.65%, realized in eau de toilette products, meaning that feminine items can cost one third euros more for the same amount of product.

However, not only the prices of products can present the difference in financial value: out of all explored items, 60% of packaging of feminine products contain pink and 93% of them are colored with warm toned shades, such as bright red, yellow or purple. On the other hand, 87% of masculine products have cool toned colors, such as dark blue, gray, green or black and do not contain any pigment of pink. Accordingly, warm toned or pink products are more expensive than the ones with darker colors, thus, verifying the application of pink tax.-

Table 1**A comparison of mean prices of feminine and masculine products in Lithuania**

Category	Mean price of feminine items (€, per Liter)	Mean price of masculine items (€, per Liter)	Difference in prices (%)
Shower gel	15.47	13.77	11
Antiperspirant	27.49	25.23	8.22
Razor	6.19	5.11	17.45
Face cream	201.8	150.5	25.42
Eau de toilette	164.4	112.4	31.65

Results of hygiene and beauty products in the Netherlands

Investigation below demonstrates that pink tax is also visible in Dutch stores. When comparing feminine and masculine hygiene and beauty products, the former ones are from 0.2% to 29.32%, more expensive than the latter. Although the difference in prices is relatively small, sometimes females have to pay roughly a quarter euros more for skincare products, as seen with face creams.

In addition to discriminatory prices, packages play a role in inequality too. Besides more than half of the products having color pink, feminine products and its packages are termed as “nourishing”, and “gentle” or include words, such as “dream”, “kiss” or “pink passion”, as well contain illustrations of flowers, fruit and milk. To the contrary, masculine products are defined as “vitalizing”, “arctic fresh” and “xtra cool”, are labeled with terms “power”, “energy” and “protect” and have images of snow and ice. Such presentations of feminine and masculine products provide certain connotations of who is supposed to use the offered brand - pink, bright and joyous products are designed for beauty fixated, playful, gentle and romantic consumers, such as women, whereas darker, straightforward, simply composed and sophisticated items are directed towards serious, active and hard working leaders, like men. Subsequently, products that are presented for the former customers are more expensive.

Table 2**A comparison of mean prices of feminine and masculine products in the Netherlands**

Category	Mean price of feminine items (€, per Liter)	Mean price of masculine items (€, per Liter)	Difference in prices (%)
Shower gel	17.97	16.77	6.68
Antiperspirant	84.51	83.84	0.79
Razor	8.87	8.46	4.62
Face cream	231.18	163.4	29.32
Eau de toilette	667.64	666.33	0.2

Comparison between Lithuanian and Dutch price differences

When comparing mean prices of Lithuanian and Dutch hygiene and beauty products it can be seen that although pink tax is applied in both countries, it is more visible in Lithuanian stores: 80% of the investigated products have a pink tax. In opposition, there are exactly 20% less products with pink tax in the Netherlands. This means that women in Lithuania are more often destined to either buy pricier items or opt for masculine products to save up money. In addition, even though the percentage difference in prices show that in both states all categories of products are more expensive for women, the percentage number in Lithuania is significantly higher than in the Netherlands. While cost for Dutch items varies from less than half a percent to 29%, in Lithuania the smallest divide starts from even 8.22% - that is 40 times higher than the Dutch minimum.

Aside from fairly large differences in Lithuania’s and the Netherlands’ gender-based pricing, it is important to mention that Lithuanian stores had more gender specific products, of which 60% were colored in pink, while in Dutch stores there were 10% less products with feminine colors. This shows that the latter country is more open towards neutralizing gender-specific products and decreasing discriminatory pricing.

Conclusion

Conducted research shows that pink tax can be found in both Lithuania and the Netherlands. Presented results argue that Lithuania has more cases of unequal pricing between gendered products (80%), whereas around 60% of feminine hygiene and beauty products in the Netherlands are valued at a greater cost. Possible reasons for such results could be greater value of materials composed in feminine products, or corporations' goal to profit from female consumers who are more interested in hygiene and beauty products.

Literature

1. Bhatia, N., Moshary, S., Tuchman, A., Investigating the Pink Tax: Evidence against a Systematic Price Premium for Women in CPG (2021) Federal Trade Commission, p. 2.
2. Bhatia, N., Moshary, S., Tuchman, A., Investigating the Pink Tax: Evidence against a Systematic Price Premium for Women in CPG (2021) Federal Trade Commission, p. 2.
3. Civil Rights. Gender Discrimination. California Prohibits Gender-Based Pricing. Cal. Civ. Code § 51.6 (West Supp. 1996). Harvard Law Review, Vol. 109, No. 7 (May, 1996), pp. 1840 (6 pages)
4. Civil Rights. Gender Discrimination. California Prohibits Gender-Based Pricing. Cal. Civ. Code § 51.6 (West Supp. 1996). Harvard Law Review, Vol. 109, No. 7 (May, 1996), pp. 1840 (6 pages)
5. EIGE, (2023). Gender Equality Index 2023. Publications Office of the European Union.
6. Guittar, S.G., Grauerholz, L., Kidder, E.N. et al. Beyond the Pink Tax: Gender-Based Pricing and Differentiation of Personal Care Products. *Gend. Issues* 39, 1–23 (2022).
7. Hajjar L. Habbal, An Economic Analysis of The Pink Tax, Lake Forest College Publications (2020), p. 2.
8. Hania, A.N.D., Ibrahim, E.G., Mohamed, S., Pink Tax Pricing Strategy Affecting Brand Equity, applied on: Gillette (2021), MSA University.
9. Lafferty, M., The Pink Tax: The Persistence of Gender Price Disparity, *Midwest Journal of Undergraduate Research* 2019, Issue 11, p. 57.

ROŽINIO MOKESČIO TAIKYMAS: ATVEJAI LIETUVOJE IR OLANDIJOJE

Santrauka

Šio straipsnio tikslas yra nustatyti rožinio mokesčio taikymą Lietuvoje ir Olandijoje. Nors rožinis mokestis nėra oficialus, taip vadinamas yra papildomas mokestis, kurį turi mokėti moterys už produktus skirtus joms. Kadangi didelė dalis prekių, kurios turi minėtą mokestį, yra rožinės spalvos, dėl šios priežasties papildoma kaina yra vadinama rožinė. Toks mokestis gali būti pritaikytas lytims būdingiems produktams, kaip moteriškai ar vyriškai higienai, grožio prekėms, rūbams ir mergaitiškiems ar berniukiškiems žaislams.

Kokybinis tyrimas buvo atliktas įvertinant higienos ir grožio prekių kainas, vienoje iš populiariausių mažmeninių prekių parduotuvių "Maxima" (Lietuvoje) ir "Albert Heijn" (Olandijoje), kuriose prekiaujama higienos ir grožio prekėmis, tokiomis kaip dušo želės, dezodorantai, kvepalai, veido kremai ir skustukai. Lyginant rezultatus gautus skaičiuojant lietuviškų ir olandiškų prekių vidurkį, abiejose šalyse buvo nustatytas rožinio mokesčio taikymas, tačiau Lietuvoje taikymas yra 20% didesnis.

Reikšminiai žodžiai: rožinis mokestis, diskriminacija dėl lyties, Lietuva, Nyderlandai.

Appendix

Table 3

Gender specific hygiene products for women and men in Lithuania

Hygiene		Gender			
		Women		Men	
		Item	Price (€, per Liter)	Item	Price (€, per Liter)
Shower gel	1.	ADIDAS ADIPOWER	14.36	ADIDAS ADIPOWER	14.36
	2.	NIVEA	13.16	NIVEA Men	11.98
	3.	DOVE Care	18.89	DOVE Men+Care	14.98
Antiperspirant	1.	NIVEA BLACK&WHITE	25.93	NIVEA Men BLACK&WHITE	21.16
	2.	DOVE	30.60	DOVE Men+Care	30.60
	3.	ADIDAS	25.93	ADIDAS	23.93
Razor	1.	GILLETTE VENUS	15.59*	GILLETTE FUSION	12.89*
	2.	BIC MISS SOLEIL	1.66*	BIC FLEX 3	1.53*
	3.	WILKINSON	1.32*	WILKINSON	0.90*

*singular item in €.

Table 4

Gender specific hygiene products for women and men in the Netherlands

Hygiene		Gender			
		Women		Men	
		Item	Price (€, per Liter)	Item	Price (€, per Liter)
Shower gel	1.	NIVEA	16.78	NIVEA Men	15.98
	2.	DOVE	21.16	DOVE Men+Care	18.38
	3.	FA	15.96	FA MEN	15.96
Antiperspirant	1.	NIVEA BLACK&WHITE	115.80	NIVEA BLACK&WHITE	119.80
	2.	DOVE	111.80	DOVE Men+Care	109.80
	3.	FA PINK Passion	25.93	FA SPORT	21.93
Razor	1.	GILLETTE VENUS	20.99*	GILLETTE	19.49*
	2.	WILKINSON	1.62*	WILKINSON	1.59*
	3.	CARE	3.99*	CARE	4.29*

Table 5

Gender specific beauty products for women and men in Lithuania

Beauty products		Gender			
		Women		Men	
		Item	Price (€, per Liter)	Item	Price (€, per Liter)
Face cream	1.	NIVEA	225.80	NIVEA Men	201.80
	2.	MARGARITA	139.80	MARGARITA for man	89.80

Beauty products		Gender			
		Women		Men	
		Item	Price (€, per Liter)	Item	Price (€, per Liter)
	3.	KILIG	239.80	KILIG man	159.80
Eau de toilette	1.	NIKE Woman	215.87	NIKE Man	149.90
	2.	ADIDAS	259.80	ADIDAS	169.90
	3.	PLAYBOY	17.49*	PLAYBOY	17.99*

*singular item in €.

Table 6

Gender specific beauty products for women and men in the Netherlands

Hygiene		Gender			
		Women		Men	
		Item	Price (€, per Liter)	Item	Price (€, per Liter)
Face cream	1.	CARE	7.95	CARE	4.60
	2.	NIVEA	235.80	NIVEA MEN	277.80
	3.	L'OREAL	449.80	L'OREAL MEN EXPERT	207.80
Eau de toilette	1.	MEXX	670.25	MEXX	666.33
	2.	TOMMY HILFIGER	666.33	TOMMY HILFIGER	666.33
	3.	GUESS	666.33	GUESS	666.33

ISSN 2783-6223 (leidinio forma: Elektroninis)

Mokslinės konferencijos
„PRAMONĖS IR VERSLO SINERGIJA TVARIAI ATEIČIAI“
recenzuotų straipsnių rinkinys

Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

www.ktk.lt,

el.p. ktk@edu.ktk.lt